

SZAKDOLGOZAT

Aradi Róbert Tibor
Gépészmérnök alapszak

Gödöllő
2024

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Mérnökinformatika specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Aradi Róbert Tibor (YDFT5L)

részére

A szakdolgozat címe:

Egyedi tervezésű DANOBAT CNC-fűrészgép hajtóműtengelyének rekonstrukciós tervezése számítógépes támogatással

Feladatkiírás:

Bevezetés, Cégbemutató, Szakirodalom feldolgozása, Probléma bemutatása, Rekonstrukciós tervezés, Gazdasági számítások, Összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi- és Gépipari Folyamatok

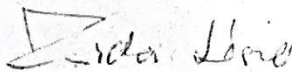
Külső konzulens: *Bíró András, Vezető Karbantartó Mérnök, GE Hungary Kft. 2112 Veresegyház, Kistrét utca 1.*

Belső konzulens: *Dr. Kári-Horváth Attila Ph.D egyetemi docens*

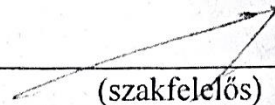
Beadási határidő: 2024. április 22

Gödöllő, 2024. február 12

Jóváhagyom



(tanszékvezető)



(szakfelelős)

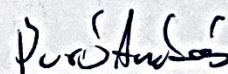
Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.



(külső konzulens)



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnök Szak**

**Egyedi tervezésű DANOBAT CNC-fűrészgép
hajtóműtengelyének rekonstrukciós tervezése számítógépes
támogatással**

Belső konzulens: Dr. Kári-Horváth Attila
Egyetemi docens

Külső konzulens: Bíró András
Vezető Karbantartó Mérnök

Készítette: **Aradi Róbert Tibor**
YDFT5L
Levelező

Intézet/Tanszék: Anyagtudományi és
Gépipari Folyamatok
Tanszék

**Gödöllő
2024**

Tartalom

1. Bevezetés	1
2. Cégbemutató	3
3. Szakirodalom feldolgozása	4
3.1. Előgyártmány	4
3.2. Forgácsolás	6
3.2.1. Esztergálás	6
3.2.2. Gyalulás, vésés	8
3.2.3. Üregelés	8
3.2.4. Furatmegmunkálás	9
3.2.5. Marás	10
3.2.6. Köszörülés	12
3.3 Hűtő, kenő folyadékok	15
3.3.1. A HKF főbb feladatai	15
3.4 Végeelem program	17
3.4.1. A végeelem módszer kialakulása	17
3.4.2. A modern végelem-módszer kialakulása	18
3.4.3. Végelem-módszer a műszaki gyakorlatban	19
3.5 Általánosan használt grafikus program (SolidWorks)	20
3.5.1. A SolidWorks felhasználási területei	21
4. Probléma bemutatása	24
4.1 Előzmények	24
4.2 A probléma forrásai	26
4.3 A tengelyre ható igénybevételek	27
4.4. Javaslat a probléma megoldására	28
5. Rekonstrukciós tervezés	29
5.1. Az eredeti tengely	29
5.2. Eredeti tengely rekonstrukciós tervezése	40
5.3. Rekonstruált tengely gyártásának tervezése	47
6. Gazdasági számítások	53
7. Összefoglalás	56
8. Summary	58
Hivatkozás	59
Nyilatkozatok	62
Mellékletek	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

1. Bevezetés

A hajtómű tengelyek olyan kulcsfontosságú elemek, amelyek meghatározzák a gépek és járművek hajtásának hatékonyságát és erejét. Ezek a kritikus alkatrészek olyan közvetítők, amelyek által a motortól vagy a fő hajtóművektől származó energiaátvitelre kerül a kerekekhez, légcsavarkhoz, hajtóművekhez vagy más mozgó részekhez. Ennek révén a hajtómű tengelyek alapvető szerepet töltenek be a gépek mozgatásában és az energia hatékony felhasználásában. Ugyanakkor a hajtóműtengelyek tervezésekor és gyártásakor figyelembe kell venni a környezeti hatásokat és a tengelyre ható igénybevételeket, az anyagok tartósságát és a karbantartási költségeket mert az igények folyamatosan nőnek a nagyobb sebesség, a pontosabb vezérlés és a megbízhatóbb működés iránt.

A GE Hungary Kft.-nél a munkaköröm CNC forgácsoló és a CNC gépekkel történő fémmegmunkálás a fő feladatom. Ez nem csupán a munkadarabok feldolgozására korlátozódik, hanem magában foglalja az összetett vezérlő rendszerek ismeretét és a gépek optimális teljesítményének elérését. Egy minőségügyi terv alapján ellenőrzöm és mérőeszközökkel hitelesítem az elkészült munkadarabok pontos méreteit. A munkadarabokat speciális készülékekkel rögzítem a gép munkaterében melyeknek felszerelése és a megfelelő beállítása szintén a feladataim közé tartozik. A gyártás hatékonyságának növelése érdekében a gépeket különböző szerszámokkal kell felszerelni ezen folyamatnak része a megfelelő szerszám kiválasztása, bemérése, rögzítése és tesztelése.

A szakdolgozat témája egy egyedi gyártású CNC fűrészgép hajtóműtengelyének rekonstrukciós tervezése, amelyet számítógépes támogatással fogok megvalósítani. A kutatás célja az eredeti hajtóműtengely teljesítményének javítása és pontosabb méretezése, a nagyobb megbízhatóság elérése érdekében. Az általam használt számítógépes módszerek és modellező programok, mint például az ANSYS és a Solidworks lehetővé teszik a különböző tervezési variációk hatékonysági elemzését.

A rekonstrukciós tervezés eredményeként egy új, korszerűsített hajtóműtengely kerül előállításra, melynek teljesítménye és tartóssága meghaladja az eredeti megoldásét ez által segítve elő a fűrészgép hosszútávú problémamentes működését. A szakirodalom feldolgozása során bemutatom a rekonstruált tengely gyártásának folyamatát, részletezni fogom a megmunkálási módokat a műveleti sorrendiséget, illetve az új alkatrész rendeltetésszerű használatának feltételeit. A szakdolgozatom egy fontos eleme a részletes gazdasági elemzés, amelyet egy konkrét probléma megoldására készítettem. Ez az elemzés

magában foglalja az adott probléma által idővel okozott anyagi veszteségek, valamint a probléma megoldásához szükséges javítási költségek alapos összehasonlítását. Ennek eredményeképpen kiderül, hogy a javítások magas költségei ellenére is gazdaságilag indokoltak lehetnek a folyamatosan növekvő anyagi kár elkerülése érdekében.

Összességében a dolgozatom célja egy gyártási folyamat során kritikus alkatrész áttervezése és rekonstrukciós tervének kidolgozása, amelynek középpontjában az alkatrész időtállóságának növelése áll. Ezzel a lépéssel kívánom megelőzni a gyártási láncban felmerült leállásokat, amelyek nem csak a termelési folyamat lassulásához vezetnek, hanem jelentős anyagi veszteségeket is okoznak. A tervezési folyamat során részletesen elemzem a meglévő alkatrész gyenge pontjait, majd ezek alapján javaslom a szükséges módosításokat, hogy az újra tervezett alkatrész erősebb, megbízhatóbb és hosszabb élettartamú legyen. Az alkatrész áttervezésének gazdasági hatásait is górcső alá veszem, összehasonlítva a termelési láncban bekövetkező leállások miatti anyagi veszteségeket a javítási és fejlesztési költségekkel. Ezáltal a dolgozat nem csupán technikai megoldásokat kínál, hanem a gazdasági megtérülés szempontjából is alátámasztja a tervezett változtatások indokoltságát.

2. Cégbemutató

General Electric (GE) egy sokrétű, globális vállalat, több mint 130 év múlta visszatekintve. Az 1892-ben Thomas Edison által alapított cég a légi közlekedés, a megújuló energia, a villamosenergia-termelés és az egészségügyi technológiák területén tevékenykedik, elősegítve a globális infrastruktúra fejlődését és a fenntarthatósági célok elérését.

A GE főbb tevékenységi területei:

- Szélerőművek: A GE Vernova kiemelt figyelmet fordít a szélenergiára, különösen az offshore és onshore szélturbinákra. A Haliade-X, a világ egyik legnagyobb tengeri szélturbinája, nagy energiahatékonysággal és megbízhatósággal bír, amely létfontosságú a tengeri szélenergia parkok számára.
- Napenergia: A GE Vernova fejlett fotovoltaikus technológiákat és rendszer megoldásokat fejleszt, melyekkel maximalizálható a napfényből nyerhető energia. A cég számos projektben működik együtt különböző szektorokkal és kormányzatokkal, hogy növelje a napenergia részesedését az energia mixben.
- Innováció és digitalizáció: A GE Vernova nem csak a hardverelemekre koncentrálnak, hanem digitális megoldásokat is kínál, amelyek javítják a megújuló energia rendszerek teljesítményét. Az adatelemzés és mesterséges intelligencia segítségével optimalizálják az energiatermelést és csökkentik az üzemeltetési költségeket.
- Környezeti fenntarthatóság: A GE Vernova innovációkon keresztül törekszik az ökológiai lábnyom csökkentésére, beleértve a szén-dioxid-kibocsátás csökkentő technológiákat és a megújuló források fokozottabb kihasználását.

Magyarországon a GE jelentős szerepet tölt be, különösen az Aviation üzletága révén, amely repülőgép-motorokat és kapcsolódó technológiákat fejleszt. A Veresegyházi GE Vernova gyár kulcsfontosságú a cég energiatermeléssel kapcsolatos tevékenységeiben, ahol a hőerőművi turbinák gyártása és az új energetikai technológiák fejlesztése zajlik. A magyarországi tevékenységük kiterjed a szélenergia projektekre is, elősegítve a zöld energiaforrások szélesebb körű alkalmazását és az energiahatékonyság javítását az országban.

3. Szakirodalom feldolgozása

3.1. Előgyártmány

- Előgyártmány tervezése

Az előgyártmány gyártástechnológiai folyamatának tervezése olyankor kerül előtérbe, ha a forgácsoló megmunkálás előgyártmányaként nem a kereskedelemben kapható és szabvány szerint gyártott hengerelt. húzott stb. terméket választunk. Az előgyártási technológia vagy az előgyártmány megválasztásánál mindig az alkatrész előállításának az összköltségét kell figyelembe venni. A nagyobb energiaigényű előgyártási technológiákat pl. kovácsolás, öntés akkor választjuk, ha az itt keletkező többletköltség a további technológiai folyamatok során megtérül pl. alacsony forgácsolási költség esetén. [13] [22]

Az alkatrészgyártás technológiai tervezésének következő lépése a forgácsolási és hőkezelési technológiák gyártási dokumentációjának elkészítése. A gyártási technológia alapdokumentuma az alkatrészrajz. Az alkatrészrajz tartalmazza az alapanyag választásához és a gyártási technológia megtervezéséhez szükséges alapvető információkat, mint például a méreteket és tűréseiket vagy a felületek alak és helyzetpontossági követelményeit, illetve az egyes felületek minőségi követelményeit. [4] [11] [16]

- Öntött előgyártmányok

A gépgyártásban előfordulnak néhány grammtól több tonna súlyig terjedő öntött előgyártmányok. Ezek öntöttvasból, acélból, színesfémekből készülnek. A gyártás tervezésekor az öntési technológiákkal elérhető technológiai tulajdonságok ismeretében választható meg az öntvény és annak mechanikai megmunkálása. Az öntvények pontossága és felületi érdessége elsősorban az öntés módjától függ. Az alábbi táblázaton látható az öntési technológiákkal elérhető méretpontosság és felületi érdesség. [23]

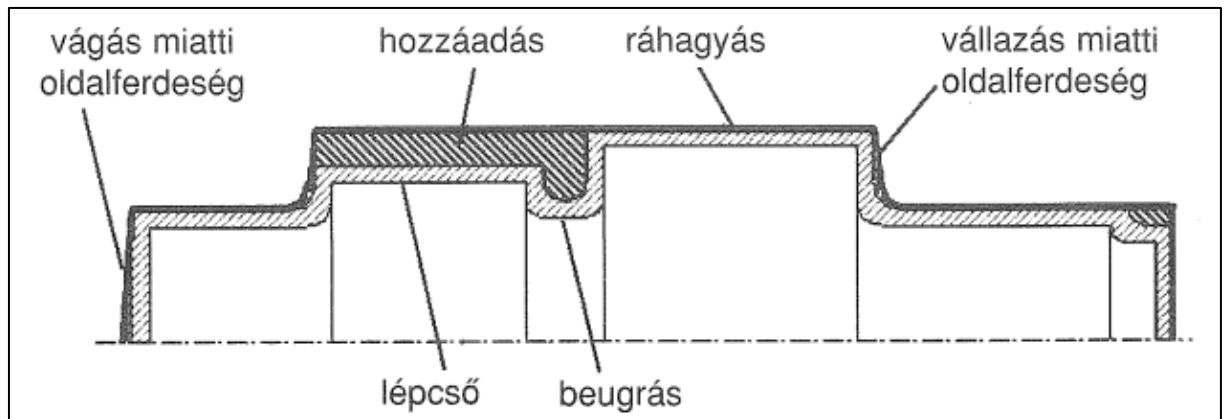
- Technológiai ráhagyások tervezése

Az ismert ráhagyásokon kívül, technológiai okokból gyakran egyéb alakváltoztatásokra is szükség van. Merevítő bordákkal megakadályozható, hogy a bonyolult öntvények lehűtés, ürítés, tisztítás, szállítás vagy forgácsolás közben vetemedjenek. Repedésgátló bordákat főleg acélöntvényeknél használják, ha az öntvények felhasználását zavarják, tisztítás közben eltávolíthatják azokat. Méreteiket a falvastagság függvényében adják meg. [15] [18]

- Kovácsolt előgyártmányok

A kész alkatrész alakját és méreteit jól megközelítő, kívánt mechanikai tulajdonságokkal rendelkező előgyártmányok készíthetők ütéssel vagy nyomással, azaz kovácsolással történő képlékeny alakítással is. Az alkalmazott szerszám és alakítási viszonyok szerint a kovácsolás lehet szabadalakító kovácsolás vagy süllyesztékes kovácsolás is. [6]

A szabadalakító kovácsolás költségei jelentősen csökkennek, ha a munkadarab alakját leegyszerűsítjük. A kisebb lépcsőket, bevágásokat, lyukakat, a nehezen kialakítható mélyedéseket a szomszédos darabrészek méretére kovácsolják az alábbi ábrán (3.1. ábra) látható módon. [1]



3.1. ábra - Előgyártmány

Minden kovácsdarabnak megvannak a maga jellegzetes geometriai formái ezért a darabokra szabványi előírás szerint pontossági fokozatot kell meghatározni. A magyar szabványban a forgácsolási hozzáadásokkal az MSZ 5745-84 2.1. pontja foglalkozik. A szabvány szerint a forgácsolási hozzáadás értékében a szerződő feleknek kell megállapodni, és azt a kovácsrajzon rögzíteni kell. A pontossági fokozatot a rendelésben kell előírni. Előírás hiányában a kovácsdarabot a II. pontossági fokozatba kell sorolni. I. fokozat: finom vagy II. fokozat: normál. [14] [19]

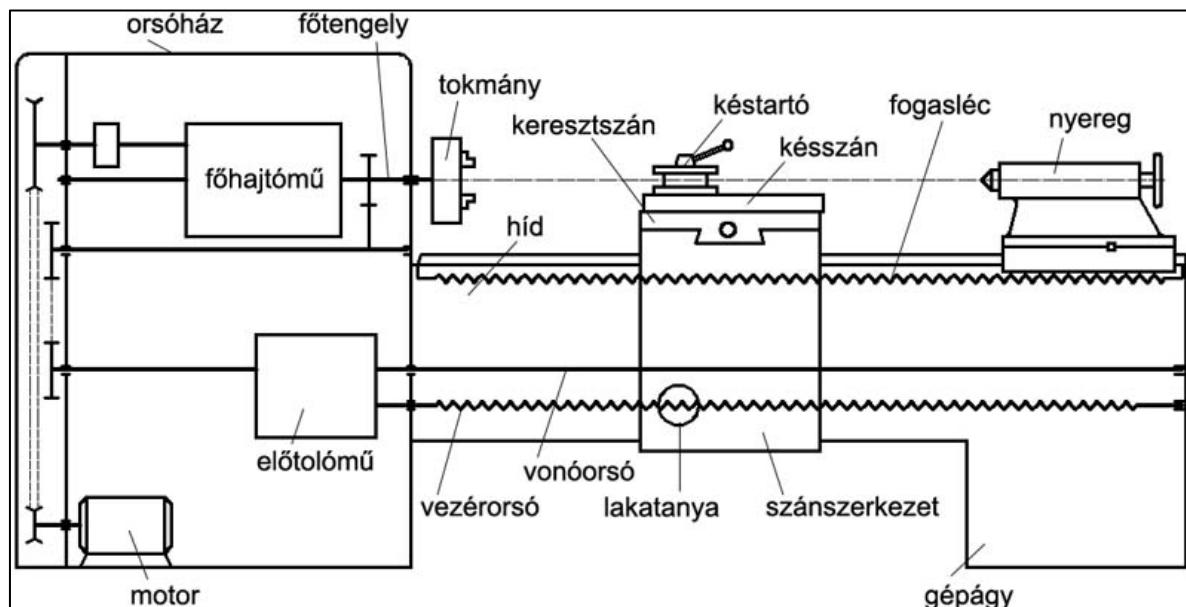
A jellegzetes geometriai alakzatok bonyolultsági csoportokba foglalva a szabvány részét képezik melyeket a gyártás előtt kell meghatározni. A kovácsdarab-tervezés első lépése ezért a bonyolultsági csoportszám megállapítása, amely a szabványban alkalmazott csoportosítás alapvetően három fő alakosztályt állapít meg: 1. alakosztály (zömök darabok), 2. alakosztály (tárca alakú darabok), 3. alakosztály (hosszúkás alakú darabok). [3] [15]

A kovácsrajz méreteit a műszakirajz-szabványok előírásai szerint kell megadni. Az ellenőrzésre kijelölt méretek tűréseit is meg kell adni. A több méretre vagy méretcsoportra közösen érvényes tűréseket a vonatkozó kovácsolási szabvány és a pontossági fokozat feltüntetésével együtt szöveges utasításban kell megadni. Az oldalferdeséget és a kúposágot szögértékkel adjuk meg. A kúposágot pedig félkúpszöggel kell meghatározni. Szöveges utasításban kell rögzíteni ezen kívül a kovácsdarab sorszámozásának és jelölésének helyét, valamint a darab kalibrált felületeit. [4] [17] [30]

3.2. Forgácsolás

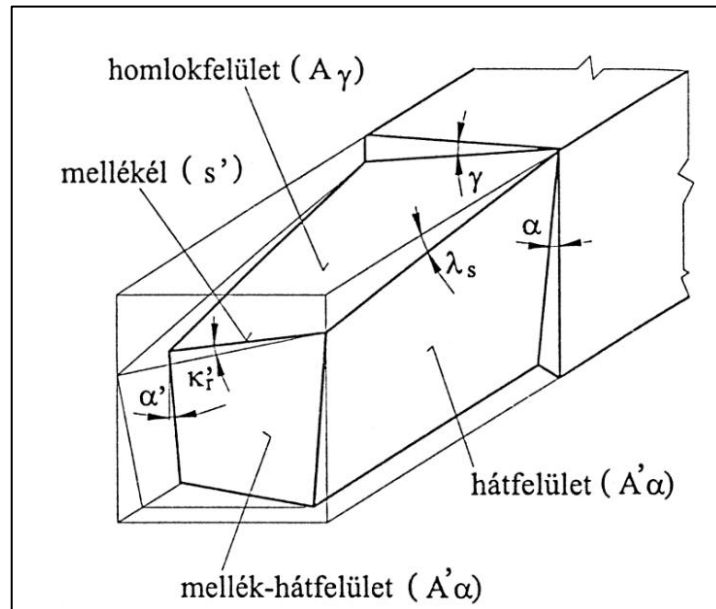
3.2.1. Esztergálás

Az egyik legalapvetőbb forgácsoló eljárás, amellyel állandó keresztmetszetű forgács folyamatos leválasztása közben forgásszimmetrikus (kör vagy poligon) szelvényű munkadarabok állíthatók elő. A forgó főmozgást a szerszámgép befogó készülékébe (pl. tokmányába) rögzített darab, a szükséges mellékmozgásokat pedig ugyancsak a szerszámgépre (késtartó, szegnyereg) fogott tömör, forrasztott vagy szerelt kivitelű szerszám végzi. (3.2. ábra) [13] [11]



3.2. ábra – Eszterga géprajz

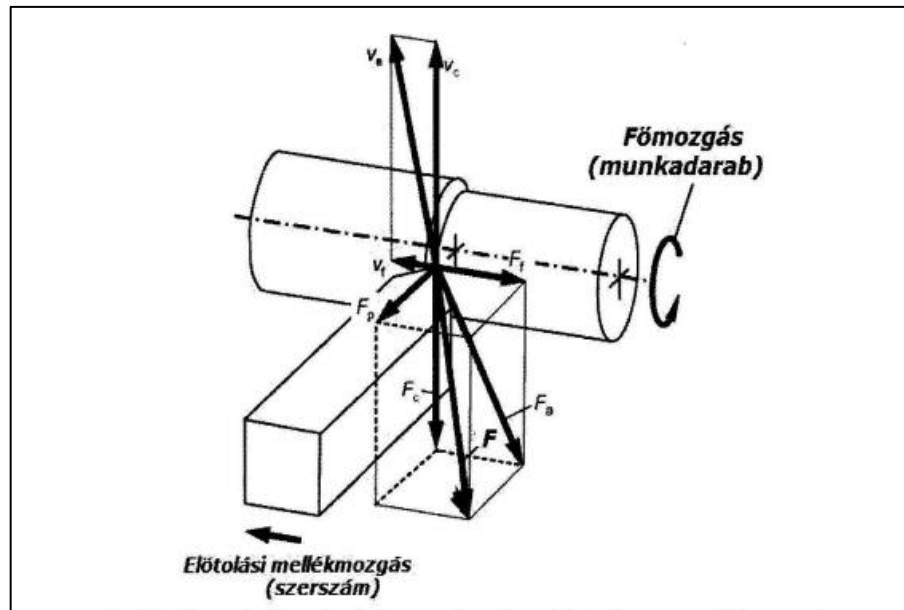
A fogásvételi mellékmozgás szakaszos, a szerszámél és a munkadarab érintkezésének hosszát a forgács szélességi mérete (b) jelenti. Az előtoló mellékmozgás folyamatos, többnyire a gép mechanizmusa hozza létre. Ez a szerszámél kinematikai nyoma (elméleti érdesség) és a forgácsvastagságot (h) is meghatározza. (3.3. ábra) [3] [12]



3.3. ábra – Esztergakés élszögei

Esztergálás során a mozgásviszonyok (3.4. ábra) [9] a következőkre bonthatók:

- Főmozgás (vágómozgás): Ez az a mozgás, amely a forgácsleválasztást közvetlenül előidézi. Az esztergálás során ez leggyakrabban a munkadarab forgó mozgása, ami a szerszámhoz képest vágási sebességet biztosít.
- Előtolás: Ez a mozgás határozza meg, hogy a szerszám milyen gyorsan halad az alkatrész felülete mentén, vagyis milyen gyorsan készül el a munkadarab. Az előtolás lehet lineáris, azaz egyenes vonalú (pl. hosszanti, átmérőirányú esztergálás esetén), vagy radiális, azaz sugárirányú (kontúresztergálásnál).
- Mellékmozgások: Ezek olyan kiegészítő mozgások, amelyek szükségesek a szerszám vagy a munkadarab helyzetének beállításához, például a szerszám visszahúzása a munkadarabtól a munkafolyamat befejezésekor.



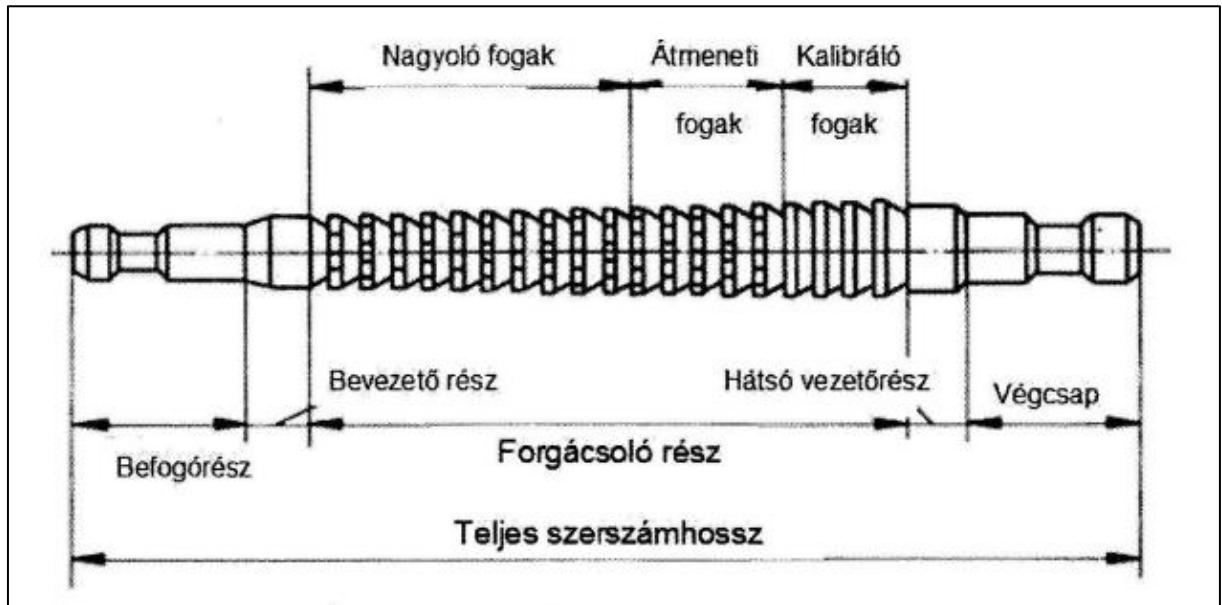
3.4. ábra – Mozgásviszonyok

3.2.2. Gyalulás, vésés

A gyalulás és a vésés technikák közös jellemzője az egyenes vonalú mozgás, amely eltérő síkokban valósul meg a gyalulásnál ez a mozgás vízszintes síkban történik, míg a vésés folyamatában függőleges irányban zajlik. Az alternáló főmozgás két fázisra bontható a munkalöketre, amikor a forgácsolás történik, és a holtjáratra, amikor a szerszám visszatér kiindulási pozíciójába. Ezáltal a forgács készítése szakaszosan, állandó keresztmetszetű darabok leválasztásával történik. Nem történik forgácsolás a visszatérési mozgás során, amelynek sebessége általában 1,5-től 4-szer gyorsabb, mint a munkalöket sebessége. [4] [27]

3.2.3. Üregelés

Az üregelés egy olyan egyenes vonalú mozgással végzett forgácsoló eljárás, melynek során a szerszám különféle felületeken történő munkavégzését annak kialakítása határozza meg, tehát a szerszám funkciói előre meghatározottak. Ezáltal a szerszámokat specifikus feladatokra szabják, ami bonyolult és költséges gyártást jelent. Kisebb anyagmaradékoknál nyomó, nagyobbaknál, például bordás furatoknál, húzó üregelőszerszámot alkalmaznak. Nagyobb gyártási pontosság érdekében gyakran használnak egy nagyoló és egy simító szerszámot. Az üregelőszerszám sajátosságait az alábbi ábra mutatja meg, (3.5. ábra) [10] [11] [20]



3.5. ábra – Üregelőszerszám

3.2.4. Furatmegmunkálás

Az alkatrészgyártás eljárásainak közel egyharmadát a különféle típusú (átmenő vagy zsák) furatok, eltérő pontossági igényekkel (nagyolás, félsimítás, simítás) való megmunkálása teszi ki. A furatok megmunkálásánál kiemelten fontos szempont a furat hosszának és átmérőjének aránya. A mozgást, mélyfúrást kivéve, minden esetben a szerszám hajtja végre, beleértve az előtolást is. A fogásvétel integrált része a szerszámnak, ami azt jelenti, hogy - a szerelt dörzsárakat kivéve - a szerszám átmérője megegyezik a készítendő furat névleges méretével.

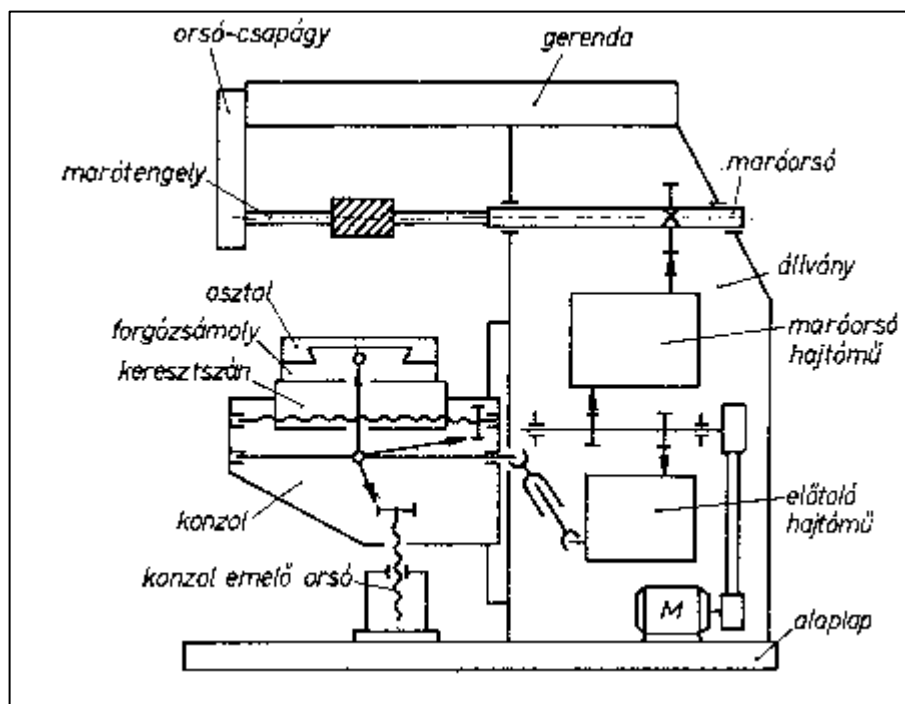
Furatmegmunkálás fajtái röviden

- telibefúrás: az átmenő és zsákfuratok készítésének leggyakoribb módszere, amelyet önálló műveletként használnak 0-tól 25 mm méretig, pontos vagy nagy átmérőjű furatok esetén pedig előmunkálásként. A hosszabb furatokat, amelyeknél a hosszúság és átmérő aránya legalább 5, fúrókiemeléssel állítják elő.
- felfúrás: egy olyan furatbővítési módszer, amelyet csigafúró segítségével végeznek, egy kisebb előfúrt átmérőtől kezdve a végső, kívánt méret eléréséig. Ez a technika általában nagyobb átmérőjű, több lépésben megvalósított, magas pontosságú furatok készítésére alkalmas. [8] [13]

- süllyesztés: egy olyan eljárás, amelyet arra használnak, hogy a furatba egy, kúpos vagy lapos részt alakítsanak ki. Ezáltal lehetővé teszi csavarfejek vagy egyéb rögzítőelemek süllyesztett elhelyezését, vagy a furatok éleinek megmunkálását a sérülések elkerülése és a jobb illeszkedés érdekében. Illetve pontos helyzetű furatok készítésének első fázisaként alkalmazzák, illetve gyártási bázisként használatos simító esztergáláskor vagy köszörüléskor a tengelyszerű munkadarab felfogására. [22]
- dörzsárazás: egy befejező megmunkálási folyamat, amely hengeres, kúpos és síkfelületeken alkalmazható. Ezzel az eljárással a kis méretű maradék anyagot távolítják el a szerszám segítségével, amely 6-tól 12 fogig terjedő számmal és kis kúpszögű forgácsolórésszel rendelkezik. Ennek következtében a keletkező forgácsvastagság rendkívül kicsi lesz. [18]

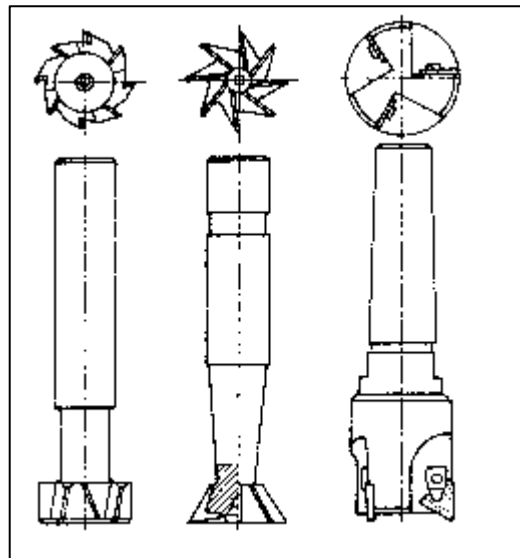
3.2.5. Marás

A marás főként síkfelületek hatékony megmunkálását teszi lehetővé, emellett széles körben alkalmazzák különböző típusú menetek és fogazott alkatrészek gyártásában, valamint alakos munkadarabok profiljainak másolómarására. Bár a körszelvényű külső felületek megmunkálása nem jellemző, a belső felületek kialakítása terén a marás egyre népszerűbbé válik, (3.6. ábra) [5] [9] [17] [19]

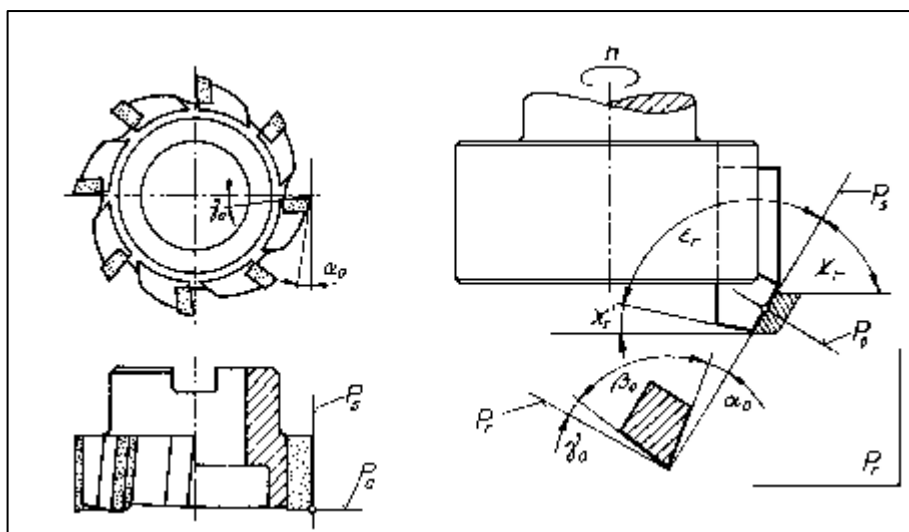


3.6. ábra – Egyetemes marógép rajza

A forgácsolás során a szerszám forgó főmozgást végez V_c sebességgel. A forgács keresztmetszetére ható mellékmozgások közé tartozik az előtolási irányú mozgás, amelyet a szerszám vagy a munkadarab hajt végre, függetlenül a főmozgástól. Ezenkívül a szerszám vagy a munkadarab által végzett fogásvételi mellékmozgások is befolyásolják, amelyek két típusú beállítást igényelnek a sugárirányú fogásszélességet és az axiális fogásmélységet. Ezek a beállítások a marási változatoktól függően különbözőek, (3.7., 3.8. ábra) [6] [27] [28].



3.7. ábra – Marószerszámok élrendezése



3.8. ábra – Marószerszám élszögei

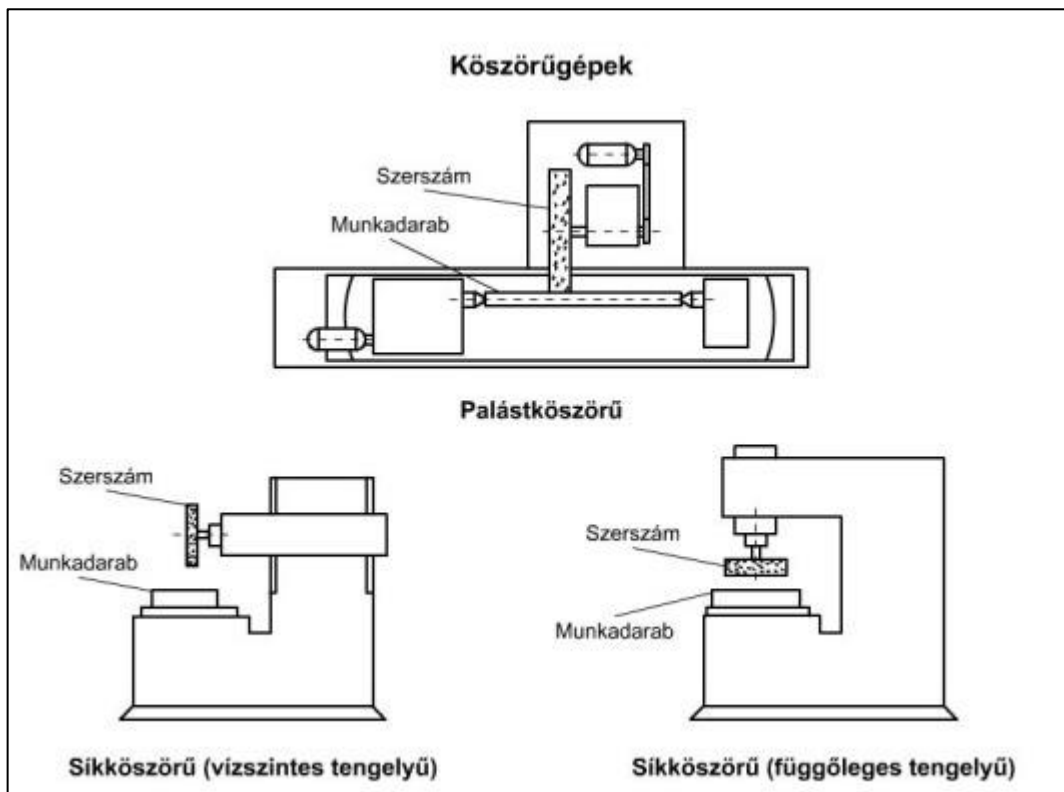
A marás során a mozgásviszonyok a következőkre bonthatók

- Főmozgás (vágómozgás): Ez a mozgás közvetlenül felelős a forgács leválasztásáért. A marás esetében a főmozgást a szerszám forgó mozgása adja. A legtöbb esetben a szerszám (marószerszám) végez forgó mozgást, míg a munkadarab rögzített.
- Előtolási mozgás: Ez a mozgás határozza meg, hogy a szerszám milyen sebességgel halad át a munkadarabon. A marásnál ez lehet egyenes vonalú (pl. hosszanti, kereszt-, vagy merülőmarás esetén), vagy körkörös (kontúrmarás esetén). Az előtolási sebesség, amely gyakran milliméter/perc (mm/min) egységben van megadva, fontos tényező a munkadarab felületi minőségének és a szerszám élettartamának szempontjából.
- Mellékmovgások: A marásnál is vannak különböző mellékmovgások, amelyek segítik a szerszám vagy a munkadarab helyzetének beállítását, vagy a szerszám cseréjét. Ilyen lehet például a szerszám vagy a munkadarab magasságának, illetve helyzetének beállítása.

A marásnál a fő- és előtolási mozgások kombinációja határozza meg a munkadarab végleges formáját, felületi minőségét, és hogy milyen gyorsan készül el a darab. Ezek a mozgásviszonyok befolyásolják a gyártási folyamat hatékonyságát, a szerszám kopását, és az előállított felületek minőségét. A marás során a szerszám geometriája és a mozgásviszonyok összehangolása kulcsfontosságú a hatékony és gazdaságos gyártási folyamat eléréséhez. [5] [10] [25] [28]

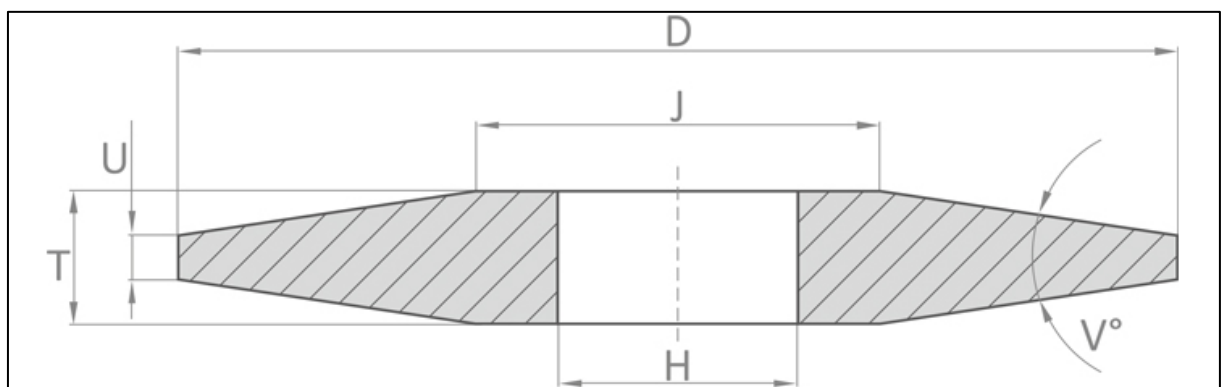
3.2.6. Köszörülés

A köszörülés abrazív megmunkálási módszerek egyike, ahol a munkafolyamat során nagyszámú, kötött állapotú, természetes vagy mesterséges köszörülőanyagok geometriailag nem meghatározott éleit használják. Ezáltal nagy sebesség mellett történik az anyagleválasztás úgy, hogy a munkadarab és a köszörülőszemcsék között nincs folyamatos érintkezés, (3.9. ábra) [6]. A geometriailag határozatlan élgeometriájú szerszámmal való forgácsolás - ahogyan a határozott élgeometriájú szerszámmal végzett forgácsolás is - a szerszám mechanikus behatása révén kialakuló anyagleválasztás. [3] [5] [7]



3.9. ábra – Köszörűgépek fajtái

Az alapelv mindkét esetben azonos. Köszörüléskor az élt a kemény anyagú szemcse adja, csak ennél a szemcsénél több aktív él is lehet. Az érintett elem forgácskeresztmetszet nagyságrendje azonban kisebb, mint a határozott élgeometriájú szerszám esetén. A köszörülési eljárás forgácsleválasztási sajátosságait alapvetően a szabálytalan élgeometria határozza meg, és főleg az alábbi tényezők befolyásolják: a szemcsék alakja és elhelyezkedése, a forgács keletkezésének folyamata, a köszörülési sebesség, a forgács mérete, az önéleződés jelensége, (3.10. ábra). [8] [12] [26]



3.10. ábra – Köszörűkorong élkialakítása

A köszörülés során a mozgásviszonyokat a következő fő kategóriákba sorolhatjuk, amelyek összehangolása kulcsfontosságú a munkadarab minőségének és a gyártási hatékonyságnak a szempontjából:

- Főmozgás (vágómozgás): A köszörülésnél a főmozgás a köszörűkorong forgó mozgása, ami biztosítja a szükséges vágási sebességet a forgácsleválasztáshoz. Ez a mozgás adja a legnagyobb sebességet, amely közvetlenül befolyásolja a köszörülési folyamatot és a felületminőséget. [24]
- Előtolási mozgás: Az előtolási mozgás az a sebesség, amellyel a munkadarabot vagy a köszörűkorongot az előre meghatározott pályán mozgatják a köszörülés során. Ez lehet:
 - Longitudinális (hosszanti) előtolás: Amikor a munkadarab hosszanti irányban mozog a köszörűkorong alatt.
 - Transzverzális (keresztirányú) előtolás: Amikor a munkadarab vagy a köszörűkorong keresztirányban mozog a munkadarab hossz tengelyéhez képest.
 - Plonget (merülő) előtolás: Amikor a köszörűkorong merülő mozgást végez, azaz függőlegesen leereszkedik a munkadarabra anélkül, hogy hosszanti vagy keresztirányú mozgást végezne. [15] [21]
- Mellékmozgások: Ezek azok a kiegészítő mozgások, amelyek szükségesek lehetnek a köszörülési folyamat során, mint például a korong vagy a munkadarab magasságának beállítása, vagy a munkadarab megfordítása a köszörülés egy másik felületén történő munkavégzés érdekében. [12]

A köszörülés során a főmozgás és az előtolási mozgások precíz összehangolása elengedhetetlen a kívánt felületi minőség és a gyártási hatékonyság eléréséhez. A mozgások optimalizálása segít a köszörülési idő csökkentésében, a felületi hibák minimalizálásában, valamint a köszörűkorong és a munkadarab élettartamának maximalizálásában. [15] [29]

3.3 Hűtő, kenő folyadékok

A hűtő- és kenőfolyadékok (HKF) széles körben használt anyagok a gyártástechnológiában, különösen a fémmegmunkálás területén. Ezek a folyadékok kulcsfontosságú szerepet játszanak a gyártási folyamatok hatékonyságának, a munkadarab és a szerszám élettartamának növelésében, valamint a végtermék minőségének javításában. Az alábbi ábrán egy hagyományos esztergagépen végzett munkadarab megmunkálásának folyamata látható, ahol hűtő- és kenőfolyadékot használnak a hűtés optimalizálására, (3.11. ábra) [11].



3.11. ábra – Munkadarab hűtése hagyományos esztergán

3.3.1. A HKF főbb feladatai

➤ Hűtési funkció

A hűtő- és kenőfolyadékok alapvetően két fő célra szolgálnak: hűteni a munkadarabot és a szerszámot a megmunkálás során, valamint kenést biztosítani a súrlódás csökkentése érdekében. A fémmegmunkálási folyamatok során jelentős hőmennyiség szabadul fel, ami negatív hatással lehet a szerszám élettartamára, a munkadarab minőségére és a gyártási hatékonyságra. [1] [31]

A hűtési hatás eléréséhez a hűtő- és kenőfolyadékoknak hatékonyan kell elvezetniük a hőt a vágási zónából. Ezáltal csökkentik a helyi hőmérsékletet, megelőzve a szerszám túlmelegedését és a munkadarab anyagszerkezetének károsodását. A hőelvezetés két fő mechanizmuson keresztül történik:

- Konvekció: A folyadék áramlása közvetlenül hűti a vágási zónát, elvezetve a hőt a szerszám és a munkadarab felületéről.
- Fázisátalakulás: Amikor a hűtőfolyadék forró felületekkel érintkezik, egy része elpárologhat, ami jelentős hőmennyiséget von el a rendszerből (párolgási hő). Ez a folyamat különösen hatékony hőelvezetési módszer.

➤ Hűtő- és kenőfolyadékok típusai és hűtési hatékonyságuk

Különböző típusú HKF-ek eltérő hűtési hatékonysággal rendelkeznek, amelyek az összetételüktől függően változhatnak:

- Vízbázisú folyadékok: Ezek a folyadékok magas hőelvezetési képességgel bírnak, köszönhetően a víz jó hővezető tulajdonságainak. Gyakran alkalmazzák őket olyan folyamatokban, ahol a hőelvezetés a legkritikusabb szempont.
- Olajbázisú folyadékok: Bár kevésbé hatékonyak a hő elvezetésében, mint a vízbázisú társaik, jobb kenést biztosítanak, ami szintén csökkentheti a hőtermelődést a súrlódás csökkenése révén.
- Szintetikus és félszintetikus folyadékok: Ezek speciálisan tervezett kémiai összetételek, amelyek célja, hogy kombinálják a víz hűtő hatását az olajok kenőképességével. Ezek gyakran kínálnak optimális egyensúlyt a hűtés és kenés között.

➤ Kenési funkció

A kenés egy másik létfontosságú funkció, amit a HKF-ek biztosítanak. A kenőanyagok csökkentik a szerszám és a munkadarab közötti közvetlen érintkezésből eredő súrlódást, ami alacsonyabb hőtermelést és kopást eredményez. Ez hosszabb szerszámélettartamot és jobb felületi minőséget tesz lehetővé, miközben csökkenti az energiafogyasztást is. A megfelelő kenés javítja a vágási folyamatot, növeli a gyártási sebességet és csökkenti a gyártási költségeket. [1] [14] [17] [23] [29]

➤ Szennyeződések és forgács eltávolítása

A HKF-ek segítenek a szennyeződések és a forgács eltávolításában a megmunkálási területről. Ez megakadályozza a forgács beékelődését és a szerszám károsodását, valamint hozzájárul a biztonságosabb munkakörnyezet kialakításához. Az alábbi képen egy CNC megmunkálási folyamata látható, ahol a célzott hűtő- és kenőfolyadék-sugár segít a forgács eltávolításában, valamint a munkadarab tisztán tartásában, (3.12. ábra) [12].



3.12. ábra – Marószerszám hűtése, megmunkálás közben

➤ Korrózióvédelem

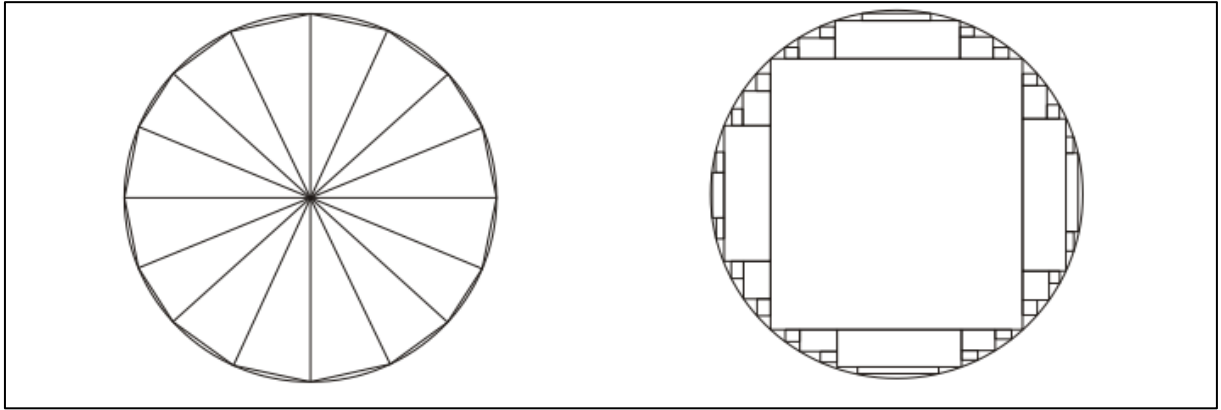
A HKF-ek gyakran tartalmaznak adalékanyagokat, amelyek megakadályozzák a korróziót, így védelmet nyújtanak mind a szerszámoknak, mind a munkadaraboknak a gyártási folyamat során és az azt követő időszakban. [1] [2]

3.4 Végeelem program

3.4.1. A végeelem módszer kialakulása

A véges elemek alkalmazásának célja, hogy feladatokat egyszerűsítsen le. Ilyen feladat egy test geometriájának meghatározása pl: terület, térfogat meghatározása. Lényege, hogy egy

bonyolultabb geometriájú testet véges számú kisebb elemekre bont így egy bonyolultabb számítás helyett több egyszerűbb számítást kapunk. Egy egyszerű példa a kör területének a közelítésére, (3.13. ábra). [14] [17]



3.13. ábra – Végeselem módszer a kör területének meghatározására

Első körben a körlapot „n” darab egyenlő szárú háromszögre bontjuk. Látható, hogy a háromszög átfogójának két végpontja és a körív által bezárt „körszelet” hibaként jelenik meg mert a háromszögek területének meghatározása nem fedi le a körlap teljes területét. Minél több háromszöget alkalmazunk annál kisebb lesz ennek a hibának az értéke. Az alábbi képlettel szemléltetem a π közelítő értékének a hibájának alakulását a felosztás függvényében. [2] [23]

3.4.2. A modern végelem-módszer kialakulása

➤ Erőmódszer

1940-es években jelentek meg a sugárhajtású repülőgépek melyek esetében a nagy sebesség miatt bonyolultabb geometriájú szerkezetek alkalmaztak, mint például a csapott és delta szárnyak. Ezek számítására a korábbi módszerek nem feleltek meg. A repülésnél nem lehet a számítási bizonytalanságokat nagy biztonsági tényezőkkel kompenzálni, mert a repülő túl nehéz lesz ebből adódóan pedig az üzemeltetés túlzottan drága lesz, illetve a felhasznált anyagok is drágábbak. Ennek következtében felmerült az igény egy bonyolult geometriákat is megfelelő pontossággal kezelő számítási módszerre. Levy alkalmazta először az erőmódszert, amely a klasszikus rugalmasságtan alapjain az erők egyensúlyából indul ki, és ebből számít elmozdulásokat. Ezt a megoldást 1947-ben a csapott szárnyú repülőgépekre

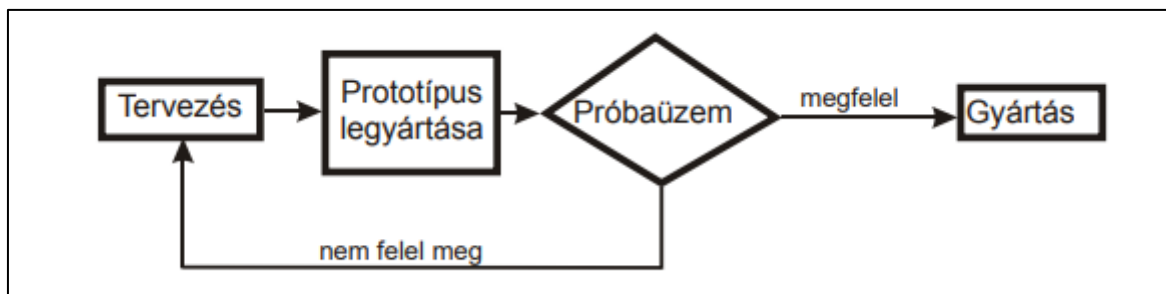
publikálta viszont a delta szárny esetében még mindig problémák merültek fel az erőmódszer alkalmazásával ezért más megközelítésre volt szükség a megoldásához. [14] [23] [25]

➤ **Mozgásmódszer**

A Boeing cég egy Turner által vezetett kutatócsoportja 1956-ban publikált egy új módszerrel megoldott problémát. Ennek lényege egy feltételezett elmozdulásokkal felírt merevségmátrixon alapuló módszer gyakorlati alkalmazása volt, ami a modern végeselem-módszer lényegét már tartalmazta. A konvergencia vizsgálata és a mátrixegyenletek és rugalmasságtani elvek analógiájának felismerése után a 60-as években a rugalmasságtan variációs elveinek alapjára helyezték a végeselem-módszert. Ekkor terjedt el széles körben a virtuális elmozdulások elvén alapuló módszer. A végeselem-módszert ma már szerkezeti, hő-áramlási, elektromos, mágneses lineáris és nemlineáris feladatokra és ezek kombinációira, kapcsolt feladatokra is alkalmazzák. [13]

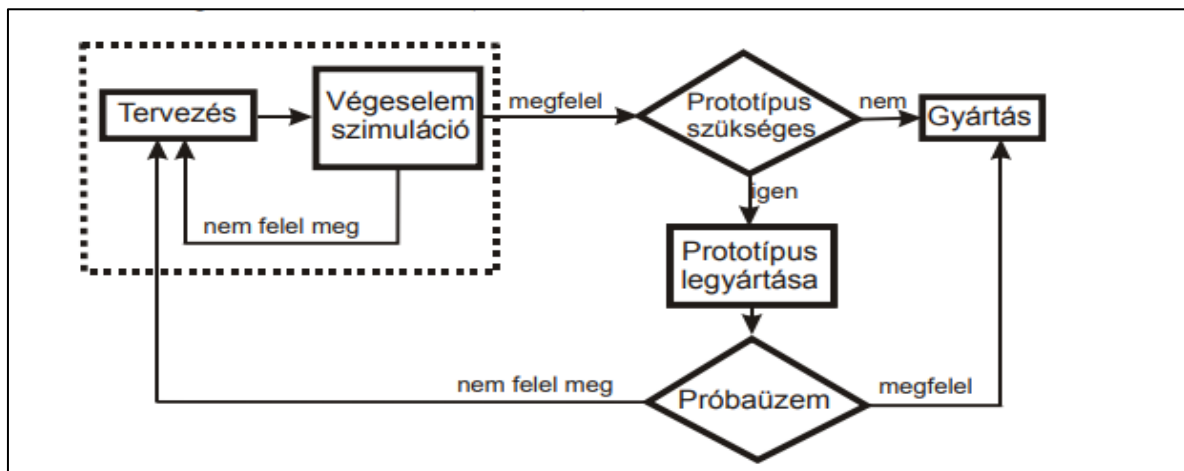
3.4.3. Végeselem-módszer a műszaki gyakorlatban

A végeselem-módszer elterjedése a gyakorlatban hamar megváltoztatta a gyártási folyamatokat azzal, hogy beépült a gyártási láncba, (3.14. ábra) [14].



3.14. ábra – Gyártási lánc blokkdiagrammja

A gyártási költség jelentős részét képezte a kísérleti darabok legyártása és próbaüzemük végrehajtása. Ebbe beletartozik a próbaüzemhez felhasznált anyagok mennyisége, a megfelelő körülmények, peremfeltételek és kísérleti eszközök megteremtése, illetve a próbaüzem elvégzéséhez szükséges szakszemélyzet biztosítása. Ezen költségek csak nagy darabszám vagy magas termékár esetén térülnek meg. Ezt a költséget jelentős mértékben csökkenti a végeselem szimuláció, (3.15. ábra) [14].



3.15. ábra – A végeselem szimuláció beépülése a gyártási láncba

Az általam használt végeselem program az ANSYS. Az ANSYS egy átfogó mérnöki szimulációs szoftver, amely széles körű eszközöket, (modulokat) kínál különböző mérnöki problémák, köztük szerkezeti, folyadékáramlási, elektromágneses és hőmérsékleti analízisek modellezésére és megoldására melynek során a végeselem-módszer alapú szimulációk lehetővé teszik a mérnökök számára, hogy pontosan modellezzék és elemezzék a tervezett szerkezetek viselkedését a valós körülmények között. Az általam használt eszköz az ANSYS Static Structural modulja kifejezetten arra lett tervezve, hogy statikus terhelések alatt vizsgálja a szerkezetek és alkatrészek viselkedését. Ez magában foglalhatja az olyan alkatrészek szilárdsági és deformációs analízisét, mint a hajtóműtengelyek, ahol fontos a terhelés alatti alakváltozás, feszültségeloszlás és a biztonsági tényezők meghatározása. A Solidworks modellező program abban lesz segítségemre, hogy ott készítsem el az új alkatrész 3D-s geometriai modelljét, amely a rekonstrukciós változatok szemléltetésére és a kész modell ANSYS programba való importálására szolgál így nem kell külön a végeselem program szerkesztőjében elkészíteni az alkatrészt, hanem egy sokkal kifinomultabb modellt lehet hozzáadni a programhoz. [7] [13] [17] [24]

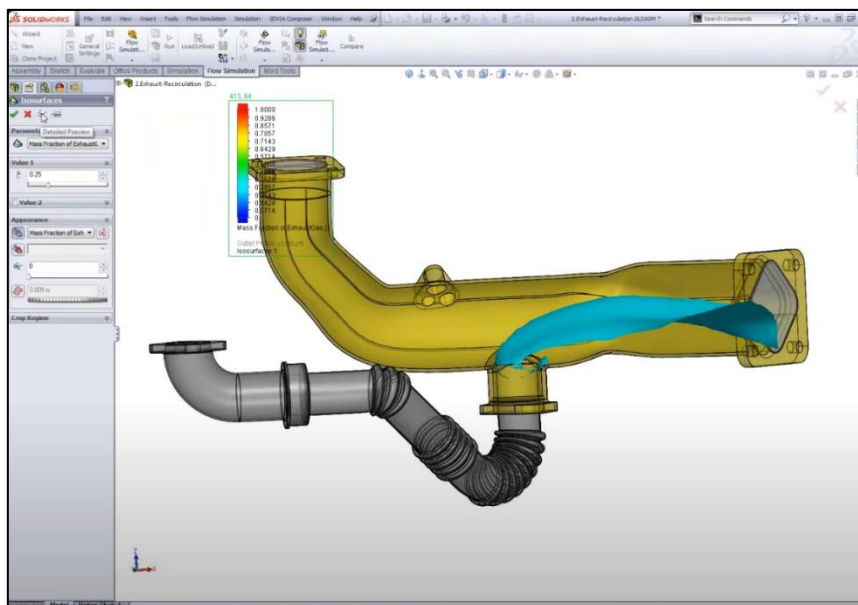
3.5 Általam használt grafikus program (SolidWorks)

A grafikus modellező programok a modern mérnöki és tervezői munka alappillérei, melyek lehetővé teszik a komplex termékek és alkatrészek virtuális tervezését, elemzését és tesztelését. Ezen programok egyik legkiemelkedőbb képviselője a SolidWorks, amely a számítógéppel segített tervezés (Computer-Aided Design - CAD) és a számítógéppel segített mérnöki (Computer-Aided Engineering - CAE) munkafolyamatokat egyaránt támogatja. A

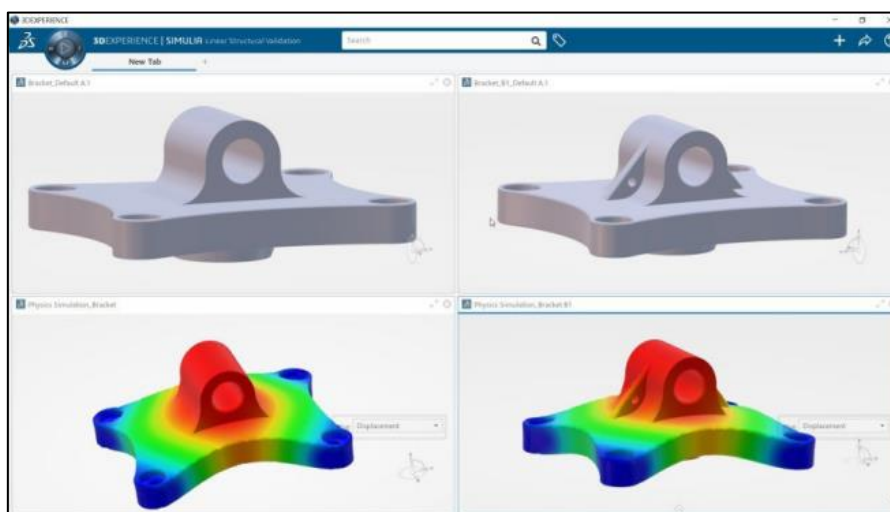
SolidWorks egyaránt alkalmazható ipari tervezésben, gépészmérnöki fejlesztésekben, valamint az összetett rendszerek és szerkezetek vizuális szimulációjában.

3.5.1. A SolidWorks felhasználási területei

A SolidWorks-et széles körben használják az ipar különböző ágazataiban a járműipartól kezdve az űrtechnológián át egészen az egészségügyi eszközökig. Az alapvető 3D modellezés mellett a szoftver képes a mozgás szimulációjára, az alkatrészekre nehezedő terhelések elemzésére, a folyadékáramlás és a hőmérséklet-eloszlás vizsgálatára, valamint a teljes termékek összeszerelésének ellenőrzésére. Az alábbi képeken (3.16., 3.17. ábra) [2] egy alkatrésze elvégzett kifáradás teszt és egy folyadékáramlási teszt látható.



3.16. ábra – Folyadékáramlási teszt

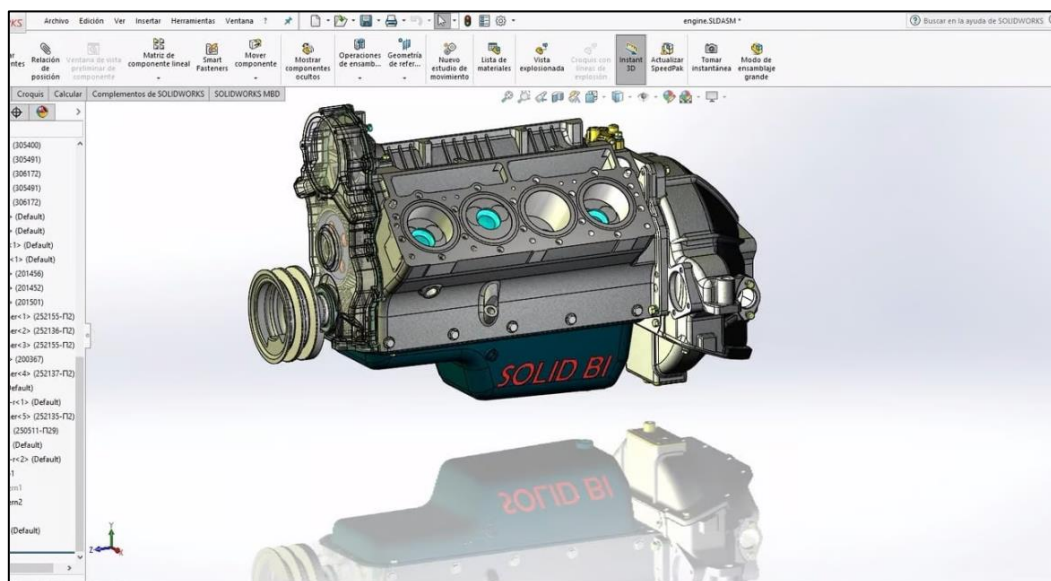


3.17. ábra – Kifáradási teszt

3.5.2. A SolidWorks Jellemzői és Előnyei

A SolidWorks parametrikus tervezői eszköztárát úgy alakították ki, hogy a felhasználók könnyen módosíthassák a tervek geometriai és funkcionális paramétereit, így elősegítve a rugalmas tervezési folyamatot. Ez azt jelenti, hogy a tervezési elemek interaktívan kapcsolódnak egymáshoz, így egy adott méret vagy alak megváltoztatása automatikusan frissíti az összes kapcsolódó dimenziót és tulajdonságot. Ez a jellegzetesség különösen hasznos változtatások esetén, ahol az egész tervezési láncot érintheti egyetlen változás.

A SolidWorks számos speciális moduljával – mint például a SolidWorks Simulation, a SolidWorks Flow Simulation, a SolidWorks CAM és a SolidWorks Plastics az egész tervezéstől a gyártási folyamatig képes lefedni a termékfejlesztés minden aspektusát. Ezek a modulok lehetővé teszik a mérnökök számára, hogy a tervezés korai szakaszában előrejelzéseket végezzenek a termék viselkedéséről és teljesítményéről, csökkentve ezzel a hibák kockázatát és a későbbi drága prototípusok szükségességét. A Solidworks-ben a termékfejlesztési folyamat az alábbi képen látható (3.18. ábra) [2].



3.18. ábra – V8-as motor 3D-s modellje

3.5.3. A SolidWorks innovatív szerepe

A SolidWorks nemcsak, hogy segít a tervezési folyamatok racionalizálásában és a gyártási költségek csökkentésében, hanem a fenntarthatóságot és az innovációt is elősegíti. A beépített fenntarthatósági elemző eszközök segítenek a mérnököknek megbecsülni a tervezésük környezeti hatását még a gyártási folyamat megkezdése előtt. A SolidWorks

szoftveres megoldások segítségével a mérnökök és tervezők nemcsak a tervezési folyamatokon tudnak együttműködni, de a gyártás, a tesztelés és a piaci bevezetés fázisaiban is. A felhőalapú platformok, mint például a 3DExperience, biztosítják a csapatok számára, hogy valós időben oszthassanak meg információkat és működjenek együtt a tervezési folyamatokban, függetlenül az egyes csapattagok fizikai elhelyezkedésétől. [14] [27] [31]

4. Probléma bemutatása

4.1 Előzmények

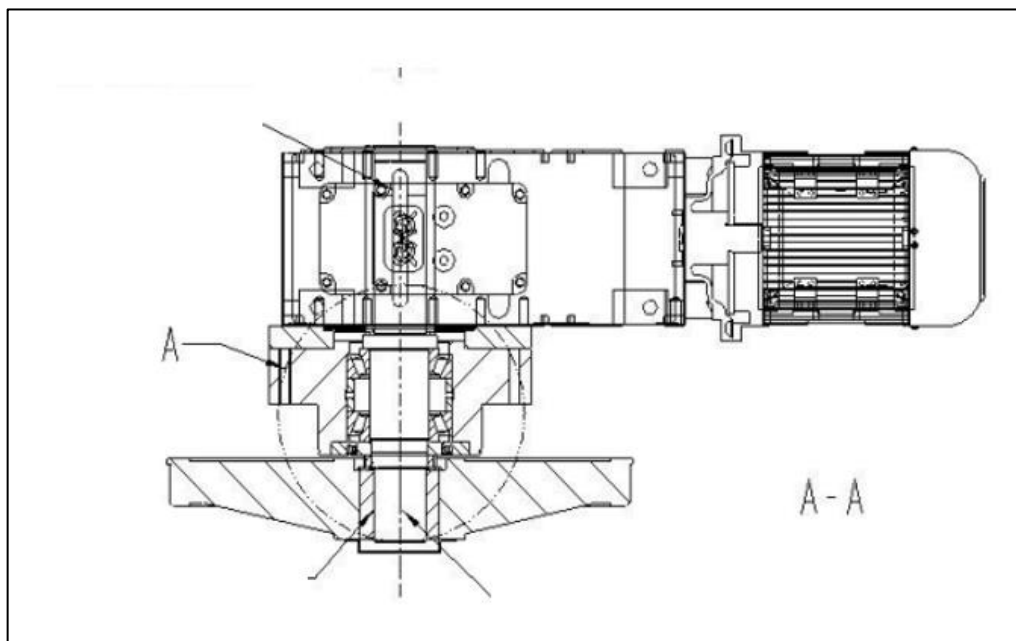
Agyártósoron használt Danobat CNC fűrészgép hajtóműtengelye, amely egy létfontosságú alkatrész a fűrészlap meghajtásához, eltört működés közben. Ez a tengely felelős volt egy tárcsa forgatásáért, amely további tárcsákkal együttműködve mozgatja a fűrészlapot, így biztosítva a gép fűrészelő funkcióját. Az alábbi képeken látható a fűrészlap folyamatos előfeszítéséért felelős tárcsát működtető hidraulikus kar, illetve a törött tengely és annak elhelyezkedése, (4.1., 4.2., 4.3., 4.4 ábra). Sajnos a gép, gyárban lévő elhelyezkedése miatt nem tudom megmutatni a hajtóművet beszerelt állapotában. Az alábbi kép a gép vásárlásakor készült.



4.1. ábra – DANOBAT CNC fűrészgép (hajtómű elhelyezkedése nyíllal jelölve)



4.2. ábra – DANOBAT CNC fűrészlapját feszítő tárcsasor (hajtómű elhelyezkedésének jelölésével)



4.3. ábra – Egybeszerelt hajtómű, tengely és hajtott tárcsa



4.4. ábra – Törött hajtóműtengely

4.2 A probléma forrásai

4.2.1 Előtolási sebesség beállítása

A CNC fűrészgépünkben az előtolási sebesség állítható, ami lehetővé teszi, hogy a fűrészlap gyorsabban vagy lassabban haladjon az anyagon keresztül. Amikor a gépkezelő növeli az előtolási sebességet, az jelentősen megnöveli a fűrészlapra, és így a lapot meghajtó tárcsásra is nehezedő terhelést. Mivel a gép nem rendelkezik olyan érzékelőkkel vagy automatikus leállítási funkciókkal, amelyek korlátoznák a túlzott előtolási erőt, a hajtóműtengelyre rendkívül nagy igénybevétel hárul. A gép egyetlen védelmi rendszere egy érzékelő, amely a fűrészlap oldalirányú kihajlását figyeli. Ha a lap túlzottan kihajlik, mert az előtolási nyomás meghaladja a biztonságos működési kereteket, a gép leáll, de ekkor már a tengelyen hatalmas terhelés jelentkezhet.

4.2.2. Anyagminőség

Az alkalmazott anyag, egy alacsonyabb kategóriájú S235 acél, nem biztosított elegendő szilárdságot és fáradásállóságot az igénybevételhez. Ez az anyag olcsó és jól megmunkálható, de nem megfelelő a nagy mechanikai terhelések elviselésére, amelyek ebben a kritikus alkalmazásban jelentkeznek.

Az eltört hajtóműtengely elemzése rámutatott, hogy az anyagminőség kulcsfontosságú szerepet játszik a komponens megbízhatóságában és tartósságában. Az S235 acél, amely alacsony széntartalmú szerkezeti acél, nem biztosította a szükséges szilárdsági és fáradási tulajdonságokat.

Problémák az S235 acéllal:

- Alacsony szilárdság: Ez az acél nem rendelkezik elegendő szilárdsággal ahhoz, hogy ellenálljon a nagy igénybevételnek, ami gyakran jellemzi a CNC fűrészgépek hajtóműtengelyeit.
- Fáradási teljesítmény: Hosszú távú használat során az alacsony fáradási ellenállás miatt a tengely előbb-utóbb károsodhat, ami töréshez vezethet.

4.2.3. A tengely geometriai kialakítása

A tengely tervezése során a keresztmetszetek szűkössége és a geometriai átmenetek nem voltak ideálisak. A kritikus területeken a keresztmetszetek közötti átmenetek túl sarkosak voltak, ami nem teszi lehetővé a megfelelő feszültségeloszlást. A szükségesnél kisebb lekerekítések miatt a feszültségkoncentrációk növekedtek, ami elősegítette a törés kialakulását. A CNC fűrészgép hajtóműtengelyére ható mechanikai igénybevételek többdimenziósak és komplexek. Az alábbiakban részletezem azokat a főbb tengelyre ható terhelési típusokat, amelyek a tengely működését befolyásolják.

4.3 A tengelyre ható igénybevételek

- Hajlító terhelések:

Az előtolási sebesség növelése közvetlenül megnöveli a fűrészlapra és így a tengelyre ható hajlító erőket. Ezek az erők a tengely hossz tengelyére merőlegesen hatnak, próbálva azt elhajlítani, ami fokozott terhelést jelent a tengely anyagára.

- Csavaró terhelések

Amikor az előtolás sebessége változik, vagy a fűrészlap akadályba ütközik, csavaró (torziós) terhelések keletkeznek a tengelyen. Ezek a terhelések arra kényszerítik a tengelyt, hogy csavarodjon körül a saját tengelye mentén, ami fokozza a mechanikai stresszt, különösen a tengelykapcsolóknál és más csatlakozási pontoknál.

- Nyíró terhelések:

A fűrészlap és a tárcsaszor által generált erők nyíró terhelést is eredményeznek, amelyek a tengelyen keresztben, annak átmérőjére merőlegesen próbálják elmozdítani az anyagot. Ez különösen jelentős a rögzítési pontoknál, ahol a tengelyelemek összekapcsolódnak.

- Tengely keresztmetszetére gyakorolt hatások:

A hajlító és csavaró terhelések kombinációja növeli a feszültségkoncentrációt a tengely kritikus szakaszain, ahol a geometriai kialakítás hirtelen változik. A nem megfelelő lekerekítések és éles átmenetek hozzájárulnak a magas feszültségkoncentrációhoz, ami elősegíti a törési kockázatot.

4.4. Javaslat a probléma megoldására

- Anyagminőség fejlesztése:

Az 42CrMo4 ötvözött acél választása jelentős előrelépést jelenthet a hajtóműtengely anyagminőségében. Ez az acél magasabb króm- és molibdéntartalmának köszönhetően nemcsak erősebb és kopásállóbb, de jobb fáradási tulajdonságokkal is rendelkezik. A hőkezelés, mint az edzés, tovább javítja az anyag mechanikai tulajdonságait. Ezek a folyamatok növelik az acél szilárdságát és rugalmasságát, így az képes hatékonyabban ellenállni a hajlító, csavaró és nyíró terheléseknek. A megfelelően hőkezelt 42CrMo4 acél jelentősen hosszabb élettartamot biztosít a hajtóműtengely számára, csökkentve a törékenység kockázatát is.

- Tervezési optimalizálás:

A tengely keresztmetszetének optimalizálása kulcsfontosságú lehet azokban a zónákban, ahol a terhelés átadása történik. A fokozatos átmenetek kialakítása és a lekerekítések növelése segít csökkenteni a feszültségkoncentrációt, javítva a terhelés eloszlását és növelve az alkatrész törésállóságát.

- Továbbfejlesztett terhelésfigyelő rendszerek:

A tengely és a fűrészlap terhelését figyelő szenzorok bevezetése melyek lehetővé teszik a terhelési csúcsok észlelését és az operátorok figyelmeztetését, ha a terhelés megközelíti a kritikus értékeket. Integrált automatikus leállítási funkciók, amelyek aktiválódnak, ha a terhelés túllépi a biztonságos működési paramétereket. Ezen eszközök bevezetése, növelheti a gép biztonságát és csökkentheti a váratlan hibák kockázatát.

- Karbantartási és felügyeleti protokollok:

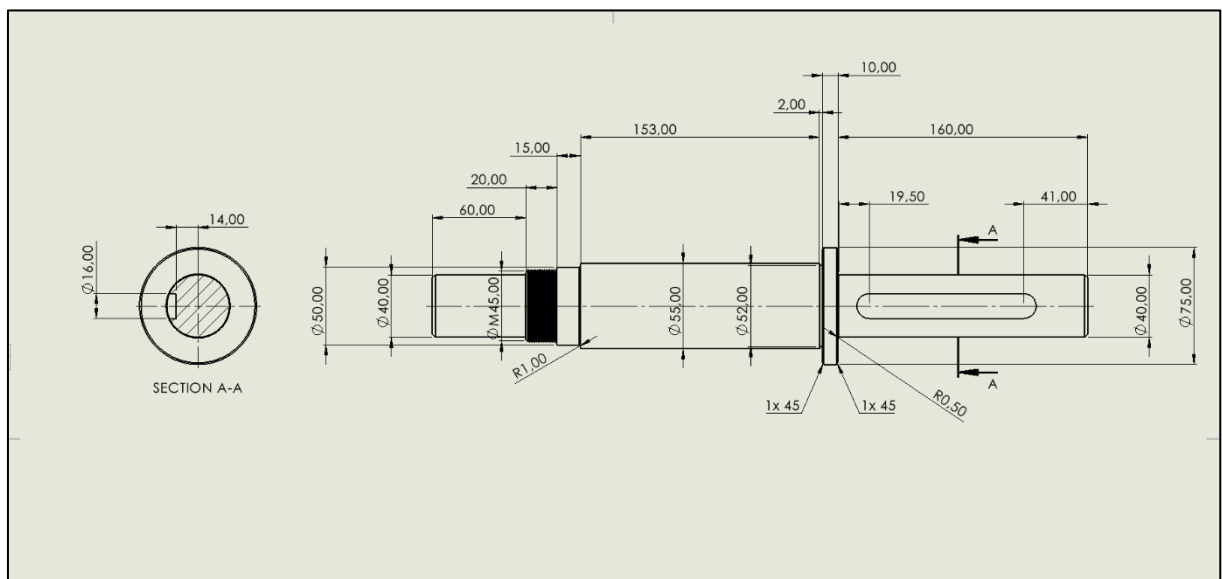
Az alkatrészek állapotának rendszeres monitorozása, az elhasználódott vagy sérült alkatrészek cseréje és a rendszer teljesítményének folyamatos felügyelete elengedhetetlen a hosszú távú megbízhatóság és hatékony működés biztosításához.

5. Rekonstrukciós tervezés

5.1. Az eredeti tengely

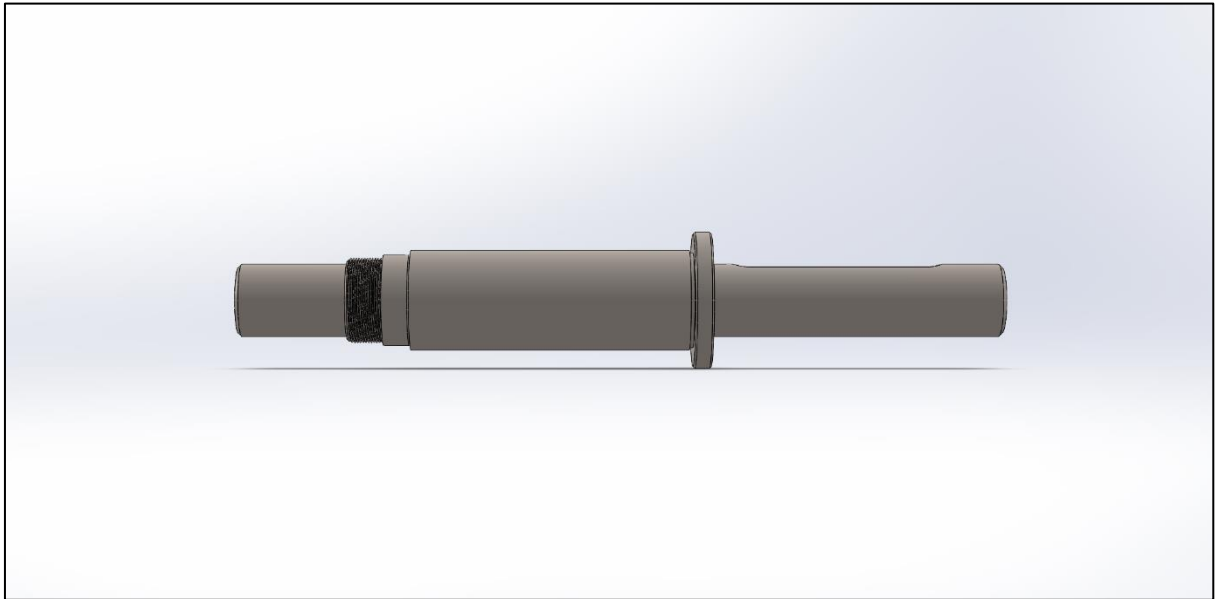
A projekt kezdeti fázisában szembesültem egy jelentős kihívással, amikor a gyártó nem biztosított műszaki rajzot a meghibásodott hajtóműtengelyről. Ez a hiányosság komoly akadályt jelentett, mivel a precíz műszaki rajzok nélkülözhetetlenek a pontos és hatékony tervezési folyamat szempontjából. A probléma megoldására saját kezdeményezésemre döntöttem úgy, hogy részletesen felmértem a törött tengely méreteit, így biztosítva az alapvető geometriai adatok megszerzését.

A mérési folyamat során digitális tolómérőt és mikrométert használtam, amellyel milliméter pontossággal rögzítettem a tengely különböző szakaszainak átmérőit, hosszúságait és a törési pontokat. Ezek az adatok szolgálták alapul a további tervezési lépésekhez. A mért adatok alapján készítettem el a tengely műhelyrajzát (5.1. ábra), a SolidWorks szoftver segítségével, amely lehetővé tette számomra, hogy a tervezési folyamatot a szükséges pontossággal és részletességgel folytathassam.

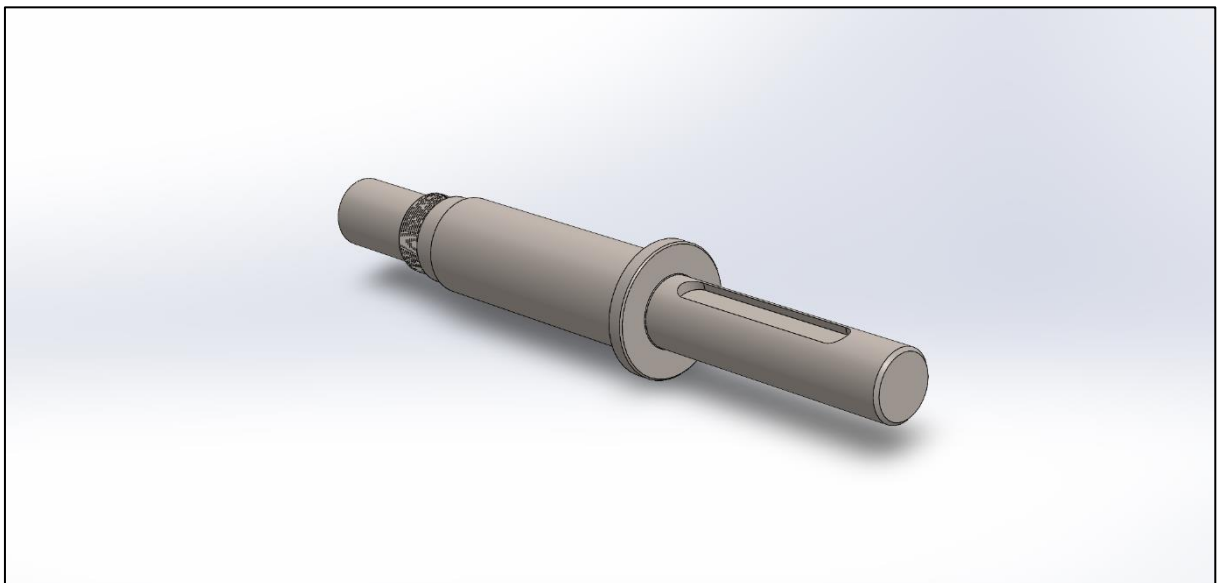


5.1. ábra – Az eredeti hajtóműtengely műhelyrajza

A műhelyrajz alapján továbbléptem a tengely teljeskörű 3D-s modellezésére. A SolidWorks használatával készített 3D modell (5.2., 5.3. ábra) lehetővé tette, hogy vizuálisan is áttekinthessem a tengely geometriáját, különös tekintettel az átmérők viszonyaira és a geometriai jellemzőkre. A modellezés során külön figyelmet fordítottam a tengelynek arra a kritikus pontjára, ahol a törés történt. Megállapítottam, hogy ezen a ponton a lekerekítés mérete rendkívül kicsi, ami hozzájárulhatott a tengely gyengeségéhez és a későbbi töréshez.



5.2. ábra – Az eredeti tengely 3D-s modellje 1.

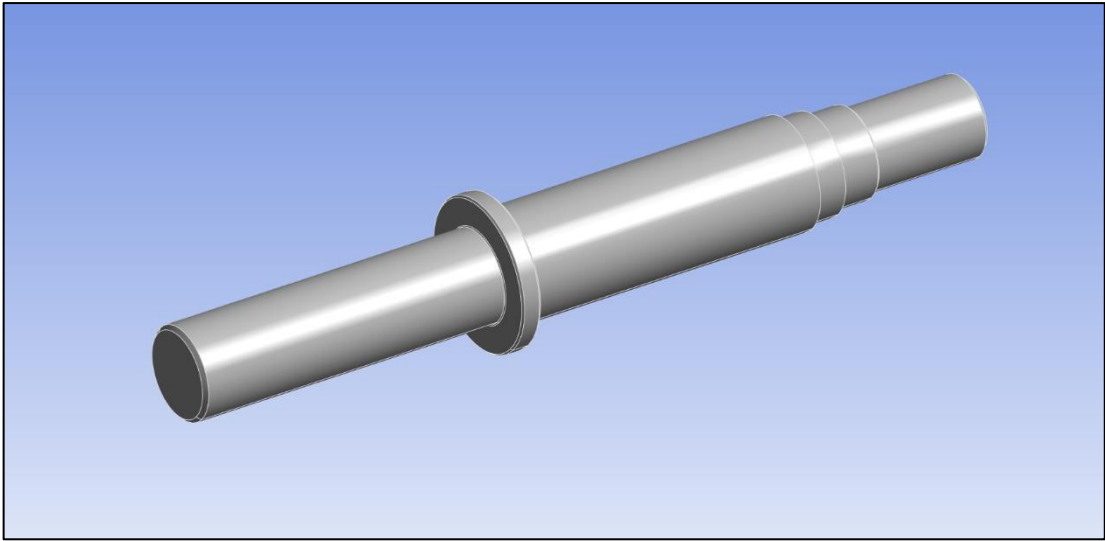


5.3. ábra – Az eredeti tengely 3D-s modellje 2.

Következő lépésként készítettem egy egyszerűsített modellt (5.4. ábra), amelyet az ANSYS programba importáltam. Az alábbiakban kifejtem, hogy miért előnyös az egyszerűsített modell használata a végelelemes szimulációkban, mint amilyen az ANSYS, különösen a törött tengely esetében.

- Számítási hatékonyság: A végelelemes modellezés során a modell bonyolultsága jelentősen növelheti a számítási időt és az erőforrásigényt. Egy egyszerűsített modell, amely csak a legfontosabb geometriai és szerkezeti jellemzőket tartalmazza, csökkentheti a szükséges számítási kapacitást. Ezáltal gyorsabban kaphatunk eredményeket és a kísérletezést / tesztelés nem húzódik el feleslegesen, amely a mérnöki gyakorlatban különösen fontos lehet a projekt időkereteink betartása esetén.
- Modell pontossága és relevanciája: Bár a részletes modell pontosabb eredményeket adhat, gyakran előfordul, hogy a túlzott részletesség nem növeli jelentősen az eredmények megbízhatóságát a tervezési döntések szempontjából. Az egyszerűsített modell lehetővé teszi, hogy a mérnökök koncentráljanak a legkritikusabb területekre és jelenségekre, mint például a törési pont lekerekítése és a tengely terhelési viselkedése.
- Számítási stabilitás: a túl részletes modellek bevezethetnek számítási instabilitásokat, mint például numerikai problémákat a finom hálózás és a komplex geometriai struktúrák miatt. Az egyszerűsített modellekkel csökken a konvergencia problémák kockázata, ami stabilabb és megbízhatóbb szimulációs folyamatot eredményez.

A modellt áthelyeztem az ANSYS-ba. Itt első lépésként egy új anyagot hozok létre, amely az eredeti tengely anyaga. Az S235 szerkezeti acélnak megadom a tulajdonságait, hogy a program megfelelő szimulációt tudjon végrehajtani. Az alábbi táblázat kitöltése után (5.5., 5.6 ábra) hozzárendelem az anyagot a modellhez.



5.4. ábra – Az eredeti tengely egyszerűsített modellje (ANSYS)

Properties of Outline Row 3: S235				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's M...		
5	Young's Modulus	210	GPa	
6	Poisson's Ratio	0,3		
7	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa	
8	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa	

5.5. ábra – S235-ös acél adattáblájának paraméterezése

Details of "tengely_eredeti_egyszerusített_import_2-FreePar"

Graphics Properties

Definition

<input type="checkbox"/> Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Treatment	None

Material

<input checked="" type="checkbox"/> Assignment	S235
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes

Bounding Box

Properties

Statistics

Engineering Data Materials

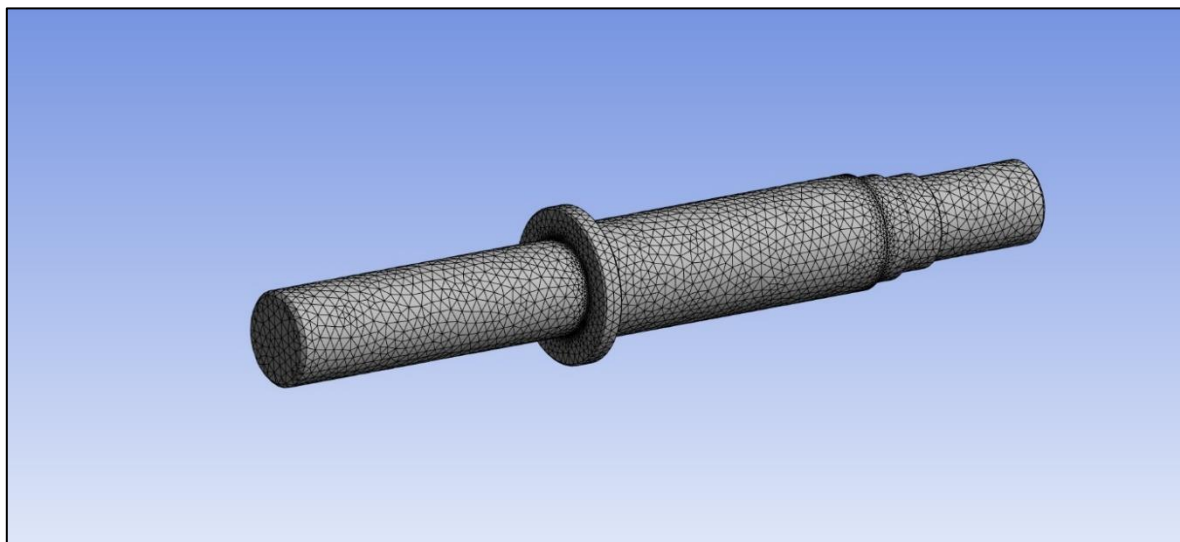
Enter name, label, property

- Water Liquid
- Structural Steel
- Air

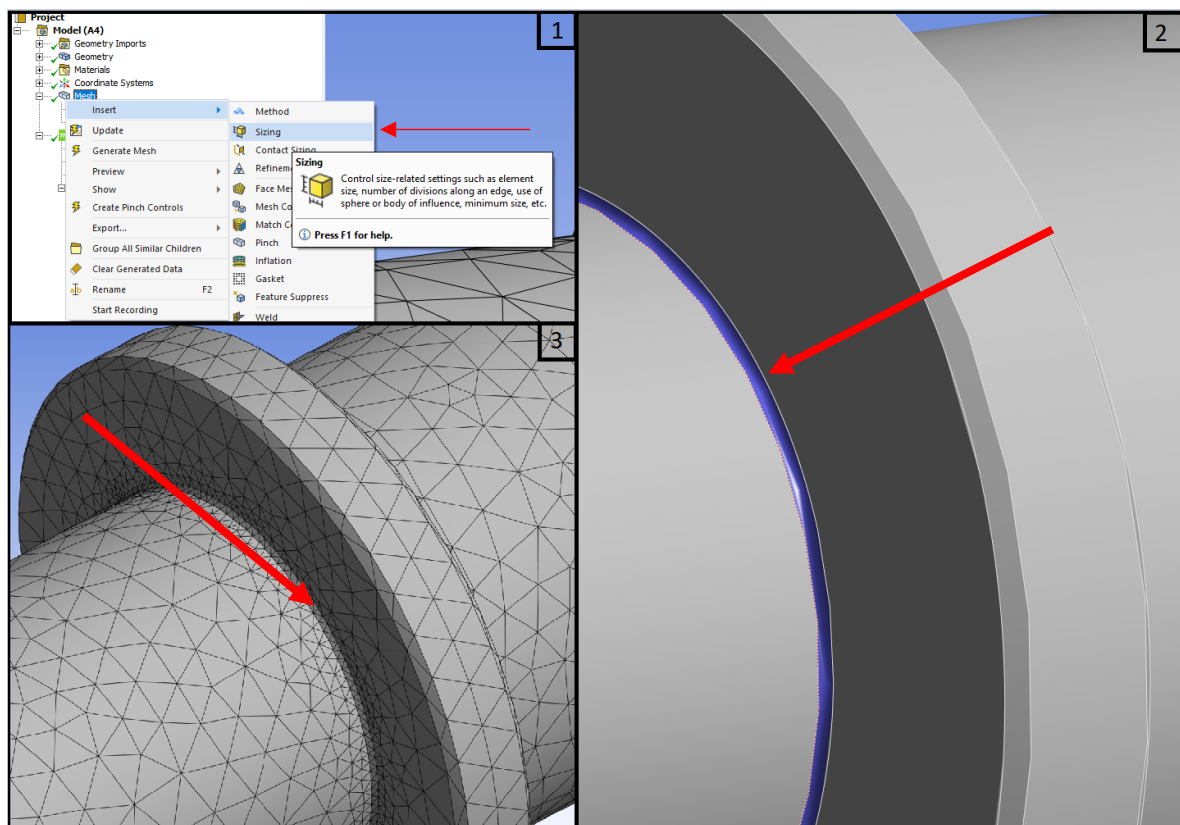
S235

5.6. ábra – S235-ös acél hozzárendelése a modellhez

Ezután kialakítom a modell hálózását (5.7. ábra). Lényegében itt látható az, hogy mit is jelent az, amikor a darab véges elemekből áll össze. Ügyelni fogok arra, egy külön beállítás keretein belül, hogy a kritikus ponton, ahol a tengely eltört egy sokkal részletesebb / sűrűbb hálózást alakítsak ki (5.8. ábra), melynek célja az lesz, hogy pontosabb eredményeket kapjunk az anyagban létrejövő feszültségekről.

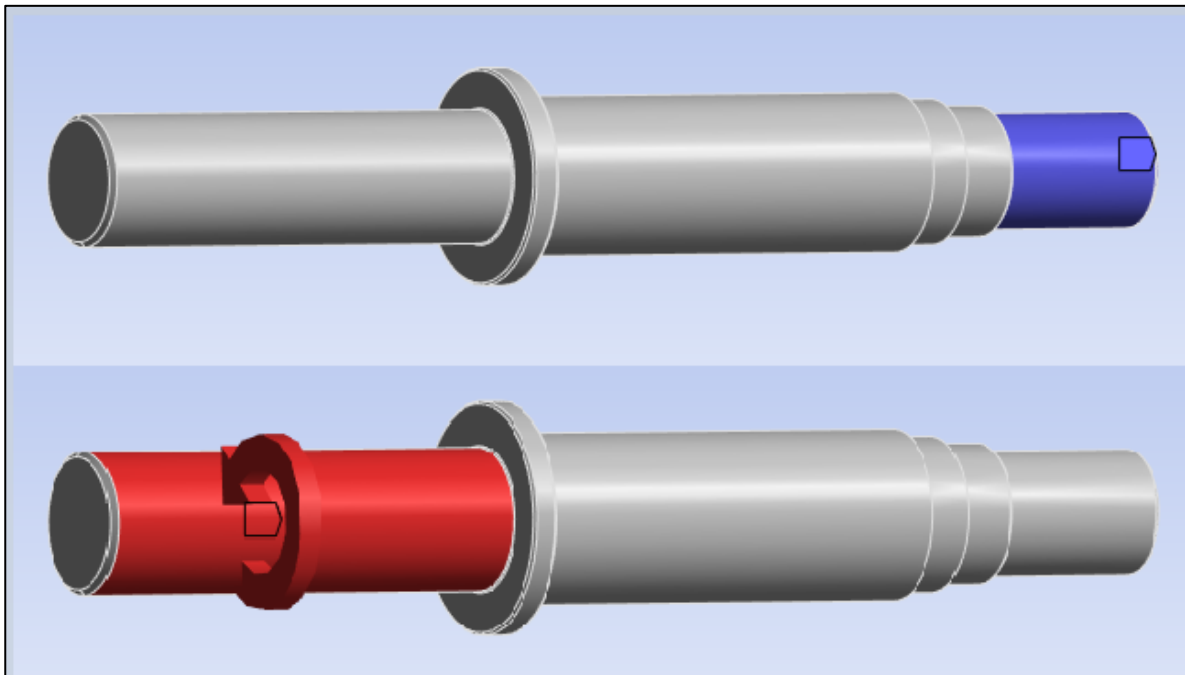


5.7. ábra – Hajtóműtengely a hálózás után



5.8. ábra – Részletes hálózás kialakítása a kritikus területeken

Következő lépés a peremfeltételek meghatározása (5.9. ábra). Az Ansys használata során a peremfeltételek megadása kulcsfontosságú lépés a szimulációs modellezésben. A peremfeltételek definiálják azon kényszereket, amelyek a modellre hatnak a vizsgálat során. Ezek a feltételek szimulálják a valóságos működési körülményeket, és határozzák meg, hogyan reagálnak az alkotóelemek az adott fizikai helyzetben.



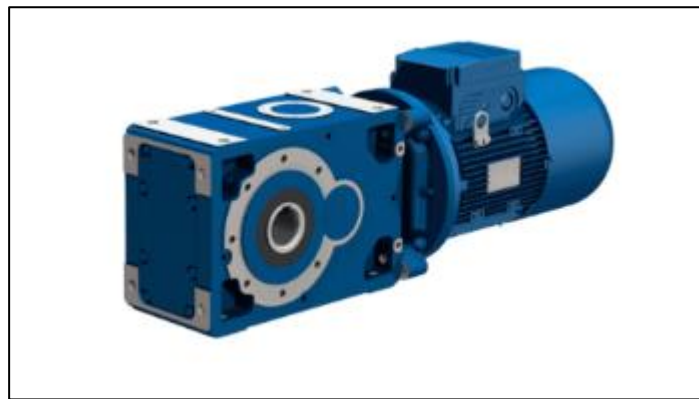
5.9. ábra – Peremfeltételek meghatározása a tengelyen

A peremfeltételek nélkül a modell szabadon lebegne a térben, ami irreális viselkedéshez vezetne, és nem adna megbízható eredményeket. A helyesen definiált peremfeltételek biztosítják, hogy a szimuláció során a modell reális terhelési és támogatási körülmények között viselkedjen, amelyek tükrözik a valós működési feltételeket. Az Ansys számos típusú peremfeltételt kínál, én közül a következőket használom.

- Fixed Support (Rögzített felület): Ez a feltétel teljesen rögzíti a kijelölt felületeket, amelyek nem mozoghatnak vagy deformálódhatnak a szimuláció során. Ez az egyik leggyakoribb peremfeltétel, amikor a vizsgált szerkezeti elem egy ponton vagy felületen fixáltan kapcsolódik egy másik elemhez vagy szerkezethez.
- Torque (Forgatónyomaték): Forgatónyomatékokat alkalmazva szimulálhatjuk azokat a hatásokat, amelyek a tengely körüli forgásból adódnak. Ez a peremfeltétel különösen

fontos olyan forgó alkatrészek vizsgálata esetén, mint például tengelyek, ahol a forgatónyomaték közvetlenül befolyásolja az alkatrész igénybevételét és deformációját.

A projekt keretében vizsgált CNC fűrészgép hajtóműrendszerét egy integrált Rossi motor és sebességváltó (gearbox) alkotja. Ez a konfiguráció kulcsfontosságú a gép teljesítményének és megbízhatóságának biztosításában. A sebességváltó kritikus eleme a gépnek, mivel az áttételezés révén képes a motor által generált forgatónyomatékot megfelelően átalakítani és továbbítani (5.10. ábra). [9]

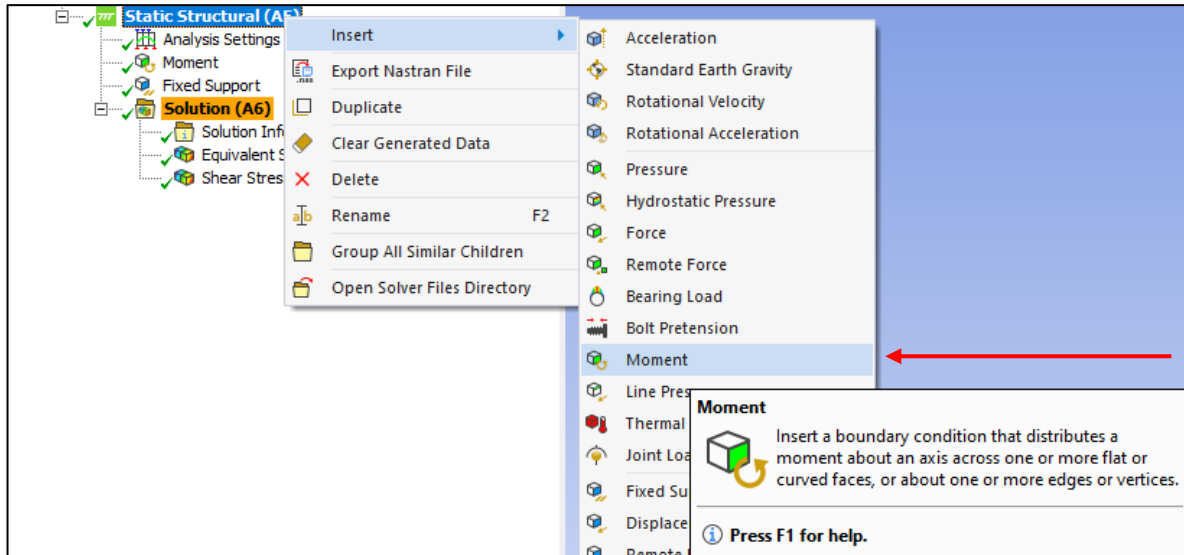


5.10. ábra – Rossi helikális hajtóműhajtómű

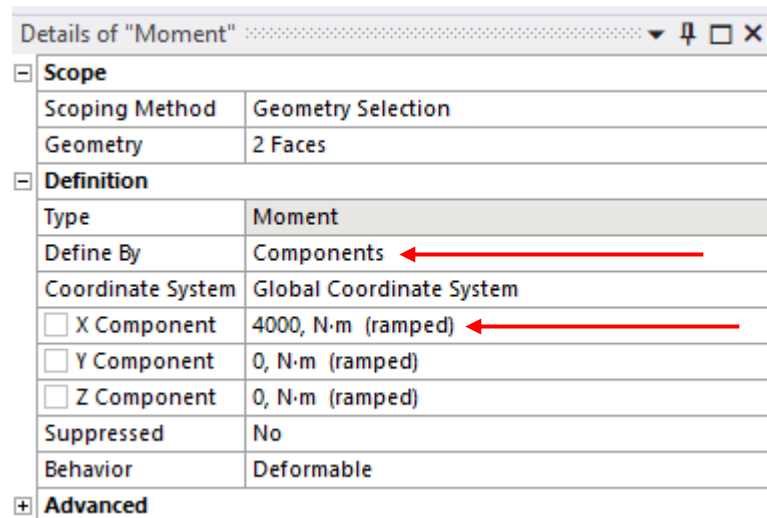
A hajtómű áttételeinek tervezésekor kiemelt figyelmet fordítottunk arra, hogy a gearbox által támogatott maximális 6375 Nm forgatónyomatékot a tervezés során figyelembe vegyük. Ezt az értéket a gyártó által meghatározott specifikáció jelöli, amely biztosítja, hogy a rendszer képes legyen kezelni a maximális terheléseket. Azonban, mint a tervezési gyakorlatban szokás, túlbiztosított értékkel számolunk, amelyek biztonsági tartalékot nyújtanak a rendkívüli vagy váratlan működési feltételek esetén.

A túlbiztosítás és a rendszer hatásfoka, amely a hajtómű esetében körülbelül 80%, kritikus tényezők a tervezési döntések meghozatalában. Tekintettel arra, hogy a hatásfok jelentősen befolyásolja a rendszer tényleges teljesítményét, úgy döntöttem, hogy a számítások során csupán 4000 Nm forgatónyomatékot veszek figyelembe. Ez az érték nem csak a túlbiztosított specifikációt veszi alapul, hanem reálisan tükrözi a rendszer hatékony működését, csökkentve ezzel a túldimenzionálásból adódó anyag- és energiafelhasználást. A paraméterezett forgatónyomaték beállítása az alábbi módon történik. Hozzáadok a Static Structural modulfához egy mozgást amelyet a program „Moment”-ként definiál, ez lesz a forgatónyomaték (5.11. ábra). Ezt követően egy táblázatban beállítom, hogy ez a nyomaték melyik tengelyen hasson illetve milyen irányban. Jelen esetben az irány lényegtelen viszont

a helyes komponens beállítása nem, melynek beállítását követően meghatározom a nyomaték nagyságát Nm-ben (5.12. ábra).



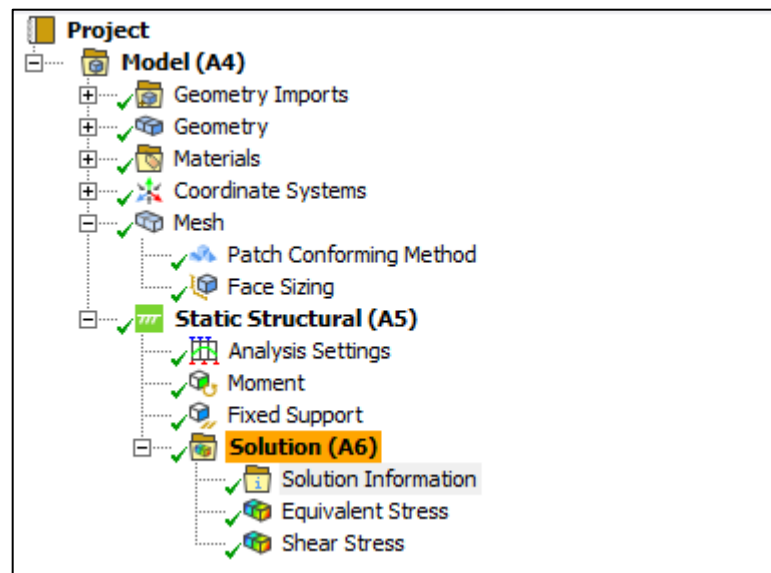
5.11. ábra – A forgatónyomaték hozzáadása a tengelyhez



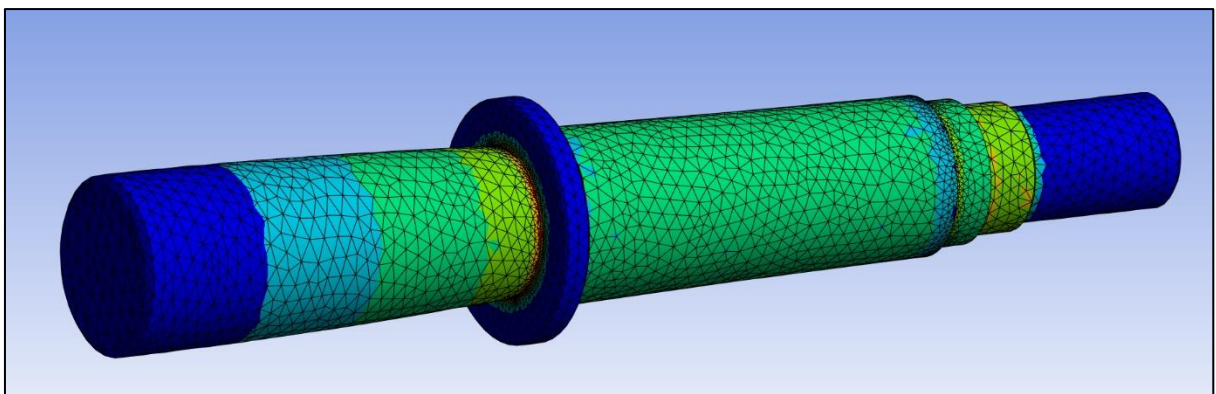
5.12. ábra – A forgatónyomaték paramétereinek beállítása

Ez a megközelítés biztosítja, hogy a CNC fűrészgép hajtóműrendszere optimálisan működjön a gyakorlati alkalmazás során. A tervezési döntés, amely a túlbiztosítás csökkentését és a hatásfok realisztikus figyelembevételét hangsúlyozza, nem csak gazdaságos, hanem fenntartható is, mivel kevesebb erőforrást igényel az üzemeltetés során. Ez a mérnöki indoklás és a tervezési szempontok átgondolt alkalmazása elősegíti a CNC fűrészgép hosszú távú megbízhatóságát és hatékonyságát.

Az adatok megadása után lefuttattam a szimulációt melynek sikerességét a program visszajelezte. Abból tudjuk, hogy a program sikeresen lefuttatta az általunk kért teszteket, hogy a projektfa összes komponenséhez egy zöld pipát helyez el (5.13. ábra). Egyszerű ugyan de ha bármilyen hibát vétettünk volna esetleg a hálózás vagy a peremfeltételek, vagy esetleg a megfelelő adatok meghatározása során a program piros X-el jelölné a hibás / hiányos részeket és nem kapnánk végezetül semmilyen eredményt csak egy hibaüzenetet. Miután ez megtörtént beállítottam azokat a feszültségtípusokat melyek eloszlását szeretném megfigyelni az anyagban. Az első ilyen az eredőfeszültség melynek eloszlása az alábbi ábrákon látható (5.14., 5.15. ábra).

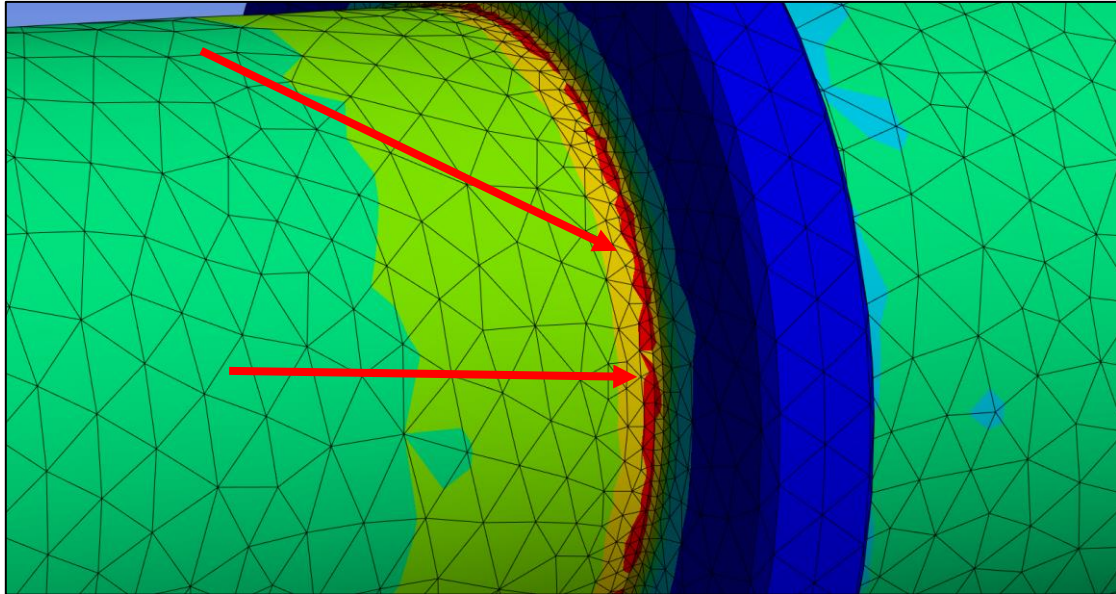


5.13. ábra – A sikeresen lefutott teszt visszaigazolása



5.14. ábra – Eredő feszültség eloszlása a tengelyen

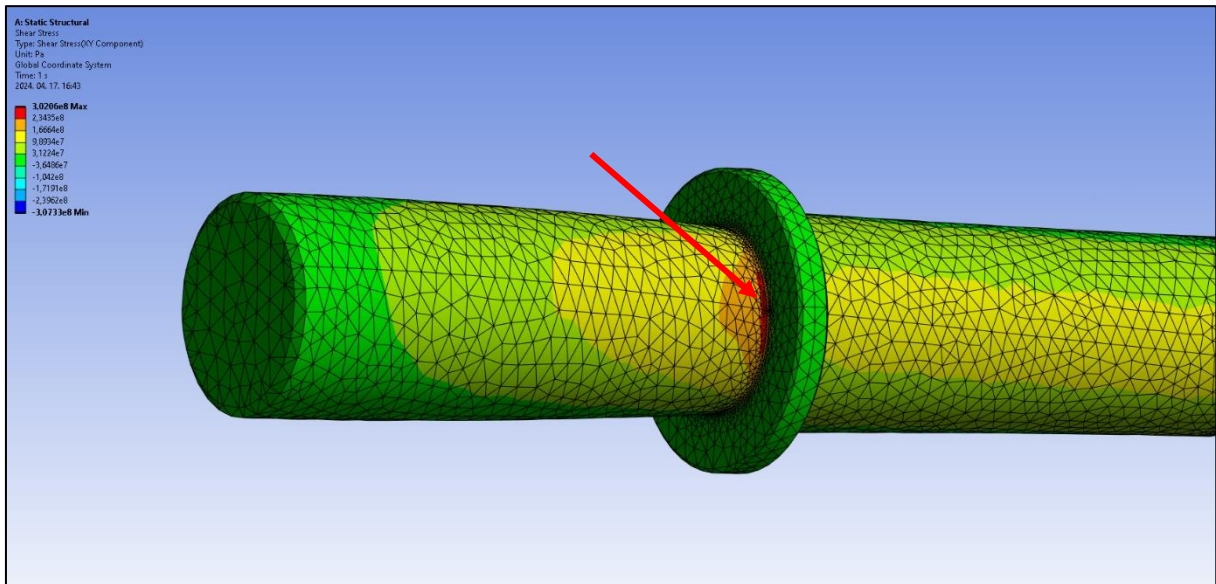
A kritikus pontra közelítve látható, hogy a legnagyobb feszültség ott ébred, ahol a legnagyobb a különbség a keresztmetszetek között és ahol nem megfelelő a geometriai kialakítása a tengelynek.



5.15. ábra – Eredő feszültség maximuma a kritikus területeken

A program meghatározza az átlag és a maximális feszültségeket melyek az én esetemben a következők voltak: Average: 187MPa; Maximum: 565MPa. Az átlagos feszültség zöld színnel van jelölve míg a maximum feszültséghez közeledve az egyre pirosabb lesz. A piros részeken az anyagban lévő feszültség eléri az 565MPa-t, ami az S235 szerkezeti acél esetében igen nagy probléma, mert az S235-nek 235MPa a folyáshatára. Tehát a pirossal jelölt részeken a tengely biztosan eltörne ezért hamar megállapíthatjuk, hogy mindenképp módosításokat kell végezni a tengely geometriájában.

A másik feszültségtípus amire a vizsgálat kiterjedt a nyírófeszültség volt. A feszültség tengelyre gyakorolt hatása (5.16. ábra). Az itt kapott feszültség maximuma, amely a tengely kritikus pontján lép fel 302MPa, ami szintén meghaladja az anyag folyáshatárát.



5.16. ábra – Nyírófeszültség eloszlása a tengelyben

5.1.1. Az első tesztek összegzése

Az S235 acélból készült tengely terhelési tesztjeit és szimulációs elemzéseit az Ansys szoftver segítségével végeztem el. A tengely a tervezés során specifikált maximális terhelési értékeknek lett alávetve, hogy értékelhessem annak mechanikai stabilitását és törési kockázatát.

A kritikus terhelési eset, amelyet a tesztek során vizsgáltam, egy olyan szélsőséges működési állapotra utal, ahol a tengely maximális forgatónyomatéki terhelésnek van kitéve, miközben a hajtóműrendszer teljes kapacitáson működik. Ezt a forgatómomentumot extrém gyorsítási és lassítási ciklusok tudják előidézni, mint például egy olyan gyorsindítás amikor a fűrészlap az anyagban állt meg vagy esetleg a fűrészlap megállítása nagy sebességű folyamatokban. Ezt a terhelést különösen nagy igénybevételi időszakokban, például hosszantartó maximális terhelésnél vagy váratlan terhelésváltozások esetén tekinthetjük relevánsnak.

A terhelési tesztek eredményei alapján megállapítom, hogy az S235 anyagú tengely nem képes kibírni a definiált kritikus terhelési feltételeket. A vizsgálatok során a tengelyen jelentkező eredő feszültség meghaladta az anyag folyáshatárát, ami a von Mises-féle feszültség hipotézise alapján történő értékelés során derült ki. A tengely kritikus pontjain megfigyelt kicsi lekerekítések és a nagyfokú feszültségkoncentráció együttesen jelentős

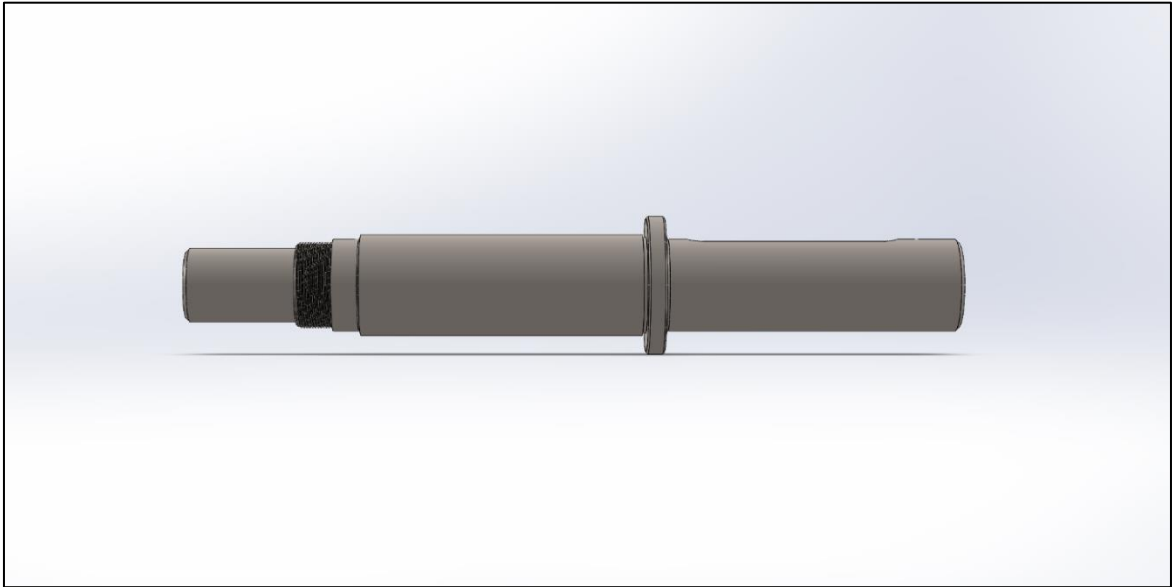
gyengülést okoztak, ami valószínűsíti a törés kockázatát hosszabb távú terhelés esetén vagy ismételt terhelési ciklusok során.

Javaslom a tengely anyagának felülvizsgálatát és esetleges cseréjét egy magasabb szilárdságú anyagra, amely jobban alkalmazkodik a várható terhelési igényekhez. Ezenkívül ajánlott elvégezni további tervezési módosításokat, mint például a kritikus területeken a lekerekítések növelését, amely csökkentheti a feszültségkoncentrációt és javíthatja a tengely teljesítményét.

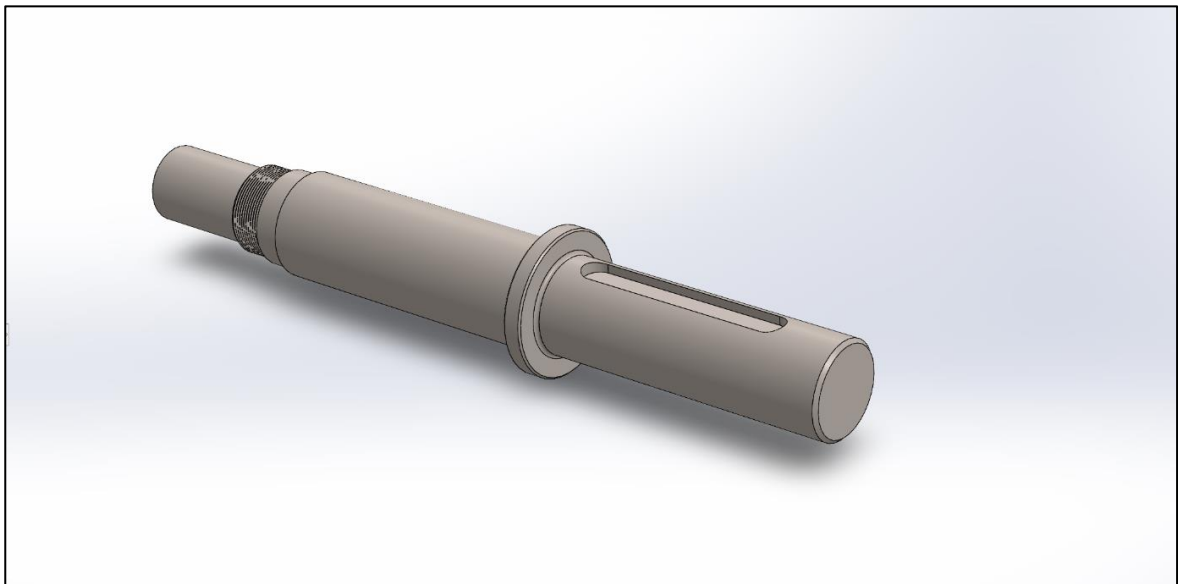
5.2. Eredeti tengely rekonstrukciós tervezése

Az első lépés a tengely átmérőjének növelése 40mm-ről 50mm-re. A tengely átmérőjének növelése jelentős hatással van a szerkezet merevségére és teherbírására. Az átmérők növelése mechanikailag stabilabbá teszi a tengelyt, mivel növeli az anyag keresztmetszetét, amely a terhelést viseli. A nagyobb keresztmetszet jobban ellenáll a hajlító és nyíró erőknek, csökkentve ezzel a feszültség koncentrációt kritikus területeken. Ezáltal a tengely képes nagyobb terhelést elviselni anélkül, hogy károsodna. A tengely szilárdságának növelése geometriai módosítással jól követhető a szilárdságtan alapelvei alapján, amely szerint a szilárdság az átmérő negyedik hatványával arányosan növekszik. Ez azt jelenti, hogy ha az átmérőt 40mm-ről 50mm-re növelem, akkor az ellenállás képessége nem lineárisan, hanem a negyedik hatvány szerint nő. Továbbá, a nagyobb átmérő javítja a tengely torziós merevségét is, ami csökkenti a csavarodási elmozdulásokat dinamikus terhelés alatt. Az általam elvégzett átmérőmódosítás a tengely teherbírását nagyságrendileg 14.5-szeresére növeli, ami jelentős megerősítést jelent.

A rekonstrukciós tervezés következő lépése a hajtóműtengely teljesítményének és tartósságának javítása volt. Ennek érdekében, a mérések és a műhelyrajz elkészítése után, kritikus tervezési változásokat hajtottam végre, különös tekintettel az anyagválasztásra és a tengely geometriai kialakítására. Az eredeti, S235 minőségű acél helyett a 42CrMo4 ötvözt acélt választottam, ami jelentős előrelépést jelentett az anyagminőség tekintetében. Ez az acél nem csak erősebb és kopásállóbb, hanem jobb fáradási tulajdonságokkal is rendelkezik, ami kulcsfontosságú a hajtóműtengely igénybevételi körülményei között. A 42CrMo4 acél folyáshatára körülbelül 900 - 1100MPa, amely lényegesen javítja a tengely teherbírását így összességében ezek a tulajdonságok jelentősen javítják a tengely teljesítményét és megbízhatóságát.



5.17. ábra – Módosított tengely 3D modellje 1.

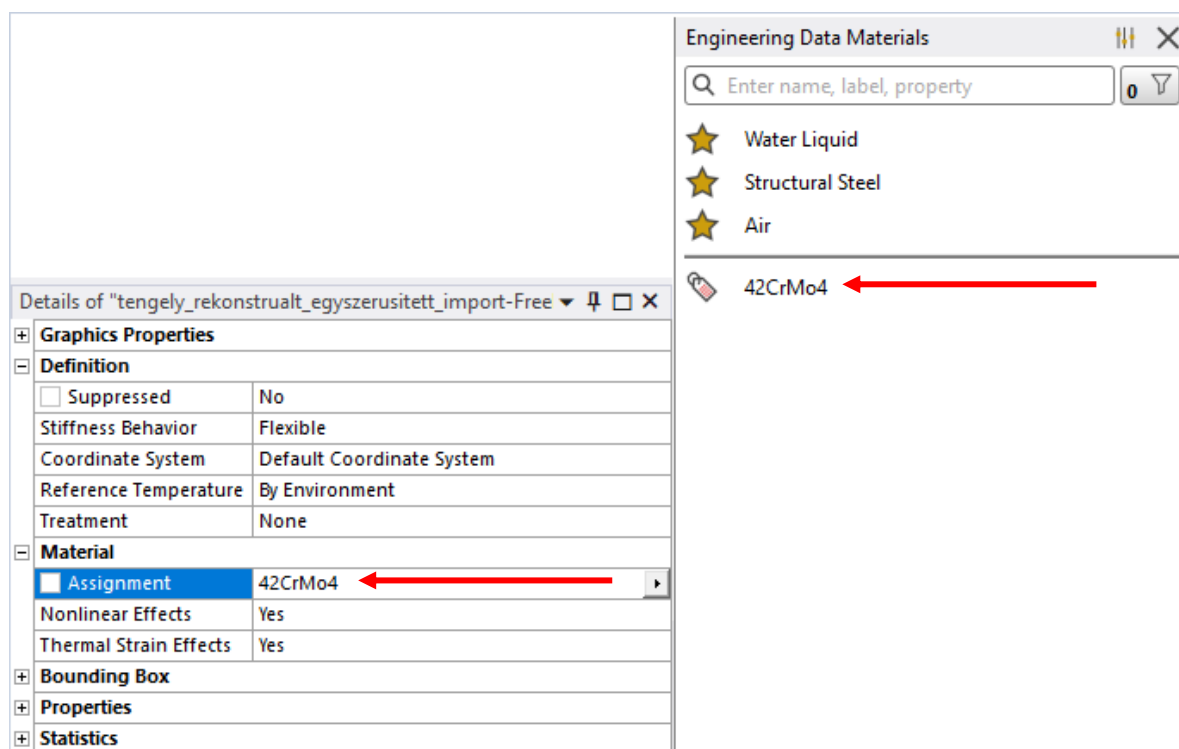


5.18. ábra – Módosított tengely 3D modellje 2.

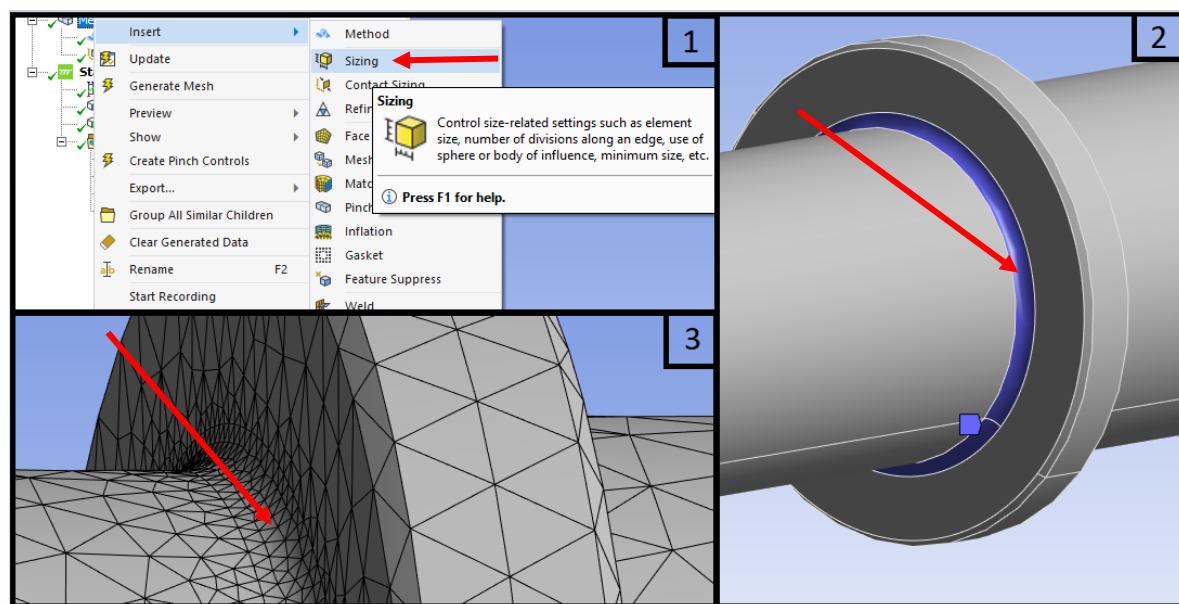
A módosított tengelyt először a SolidWorks-ben modelleztem le. Itt készíték egy részletes 3D modellt, amely az új átmérőt és az 42CrMo4 anyag jellemzőit veszi figyelembe. Ezt követően egy egyszerűsített változatot importálok az Ansys szoftverbe. A módosított tengely 3D modellje az alábbi ábrán látható (5.17., 5.18. ábra).

Itt már szembetűnő a hajtott oldali átmérő növekedése és az átmérők közötti jelentős lekerekítés. Ennek a modellnek az egyszerűsített változatát importáltam az ANSYS programba ahogy azt az eredeti tengellyel is tettem. Mivel változtattam az anyagminőségen létrehoztam a programban egy új anyagot 42CrMo4-névvel. Lényeges, hogy ezt létrehozzam

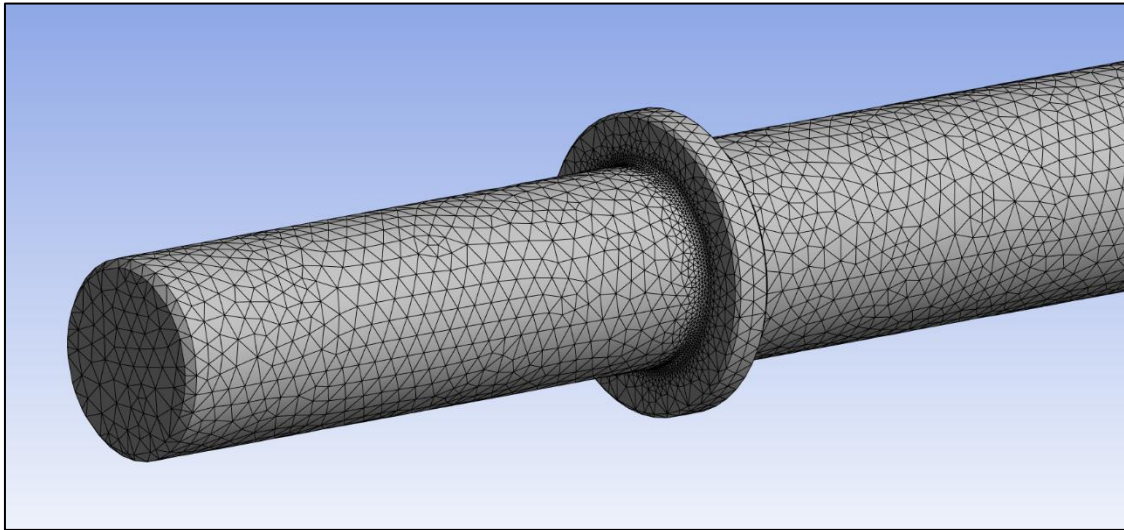
mivel a program csak egy alapértelmezett szerkezeti acélt tartalmaz, amelynek a paraméterei eltérőek az általam választott anyagétól. Ezt követően beállítom a paramétereit és hozzárendelem a modellhez. Következő lépésként behálózom a modellt és ügyelek a kritikus ponton létrehozott sűrűbb hálózásra a jobb eredmények elérése érdekében az alábbi képen látható módon (5.19., 5.20. 5.21. ábra).



5.19. ábra – A 42CrMo4 hozzárendelése a modellhez

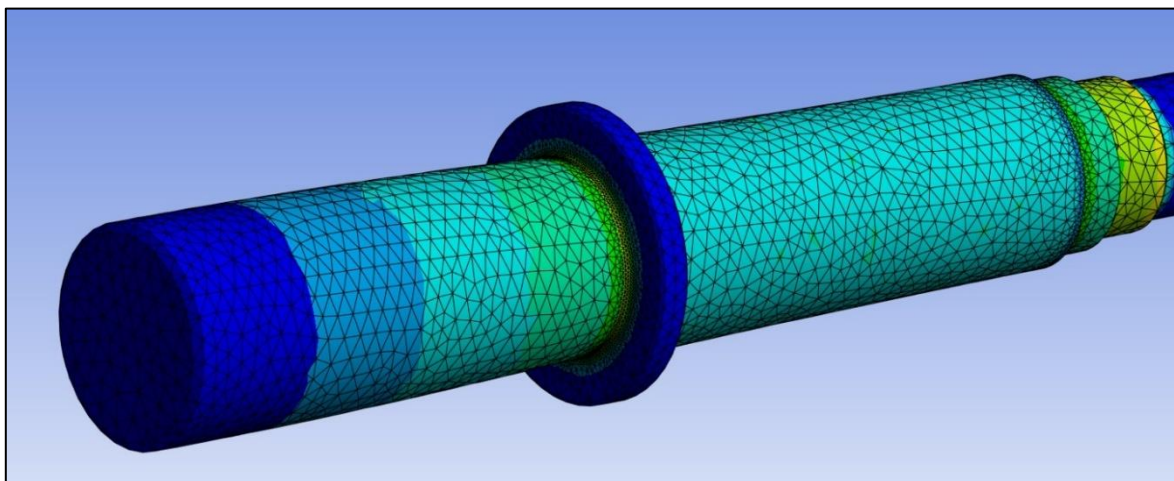


5.20. ábra – Részletes hálózás beállítása a kritikus területeken

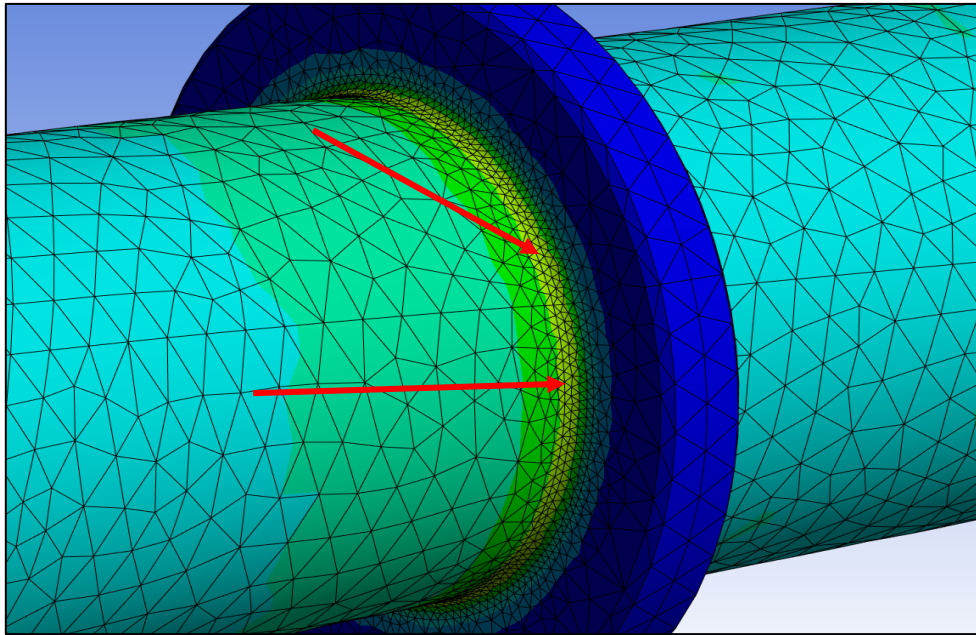


5.21. ábra – A rekonstruált tengely hálózás után

Látható, hogy itt már egy sokkal részletesebb hálózást alkalmaztam. A hajtóműtengely kritikus pontjain sűrűbb elemhálózat kialakítása létfontosságú lépés a tervezési és szimulációs folyamatban, mivel ez jelentősen növeli a szimuláció pontosságát és megbízhatóságát azon területeken, ahol a legnagyobb a terhelés és ahol a törés valószínűsége a legmagasabb. A behálózott tengelyre megadom a szükséges peremfeltételeket melyek a rögzített támasz és az alkalmazott forgatónyomaték, amely továbbra is 4000Nm. A terhelési tesztet először eredő feszültségre (equivalent stress), majd nyírófeszültségre (shear stress) végezem. Ezek a tesztek segítenek meghatározni, hogy a módosított tengely kielégíti-e a tervezési követelményeket, és ellenáll-e a várható legmagasabb terheléseknek (5.22. ábra).



5.22. ábra – Eredő feszültség eloszlása a tengelyben



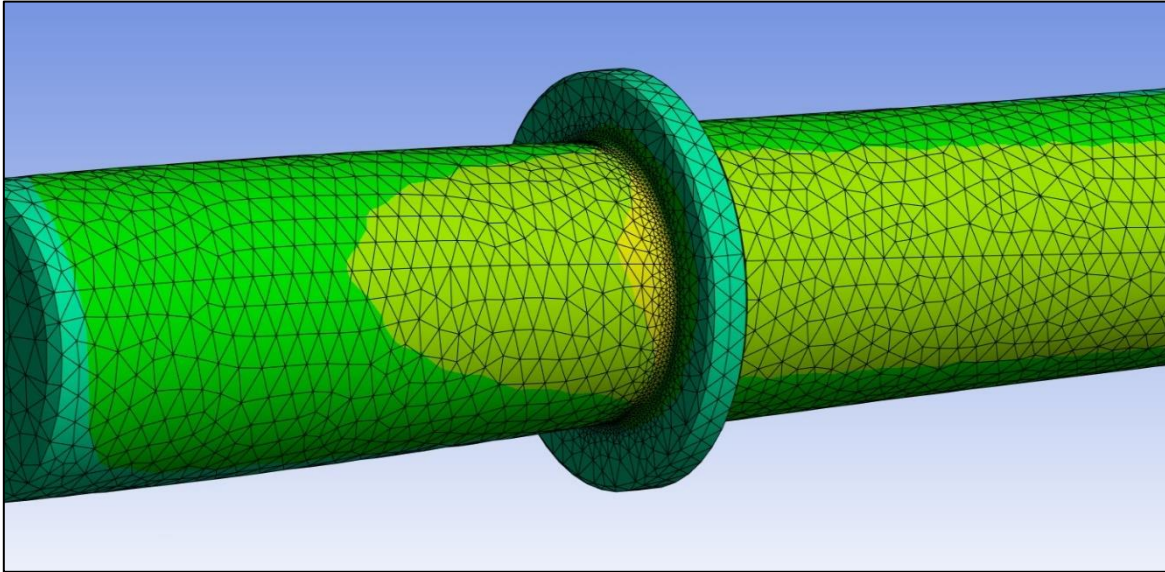
5.23. ábra – Eredő feszültség eloszlása a kritikus területeken

5.2.1. Rekonstruál tengelyen végzett tesztek összegzése

Az így kapott maximális feszültség 502MPa, amely már kisebb, mint az előző tengely esetében. A feszültségcsökkenés a rekonstruált tengelyen egyértelműen jelzi a tervezési módosítások sikerét (5.23. ábra). A szimulációs tesztek és a fáradási vizsgálatok alapján az új tervezésű tengely jelentősen megnövelt megbízhatóságot mutat, amit a csökkentett feszültségszintek is alátámasztanak. Illetve a 42CrMo4-re való anyagminőség fejlesztését követően 900MPa lett a maximálisan megengedhető feszültséghatár, amely az anyag folyáshatárából ered.

A hajtóműtengelyen végzett módosítások hatékonyságának bizonyítására egy újabb szimulációt végeztem el, amelynél a nyírófeszültség eloszlását vizsgálom a tengely kritikusnak nevezett „töréspontján”. Továbbra is különös figyelmet fordítottam arra, hogy ezen a ponton sűrűbb hálózást alakítsak kis a pontosabb eredmények érdekében. A vizuális eredményeken a feszültségeloszlás továbbra is egy színskálán jelenik meg amely az alábbi ábrákon világosan mutatja, hogy a korábban pirossal jelzett feszültségzónák eltűntek és sárgás-zöldes színnel helyettesültek. Ez a színváltozás jelzi, hogy jelentős csökkenés történt

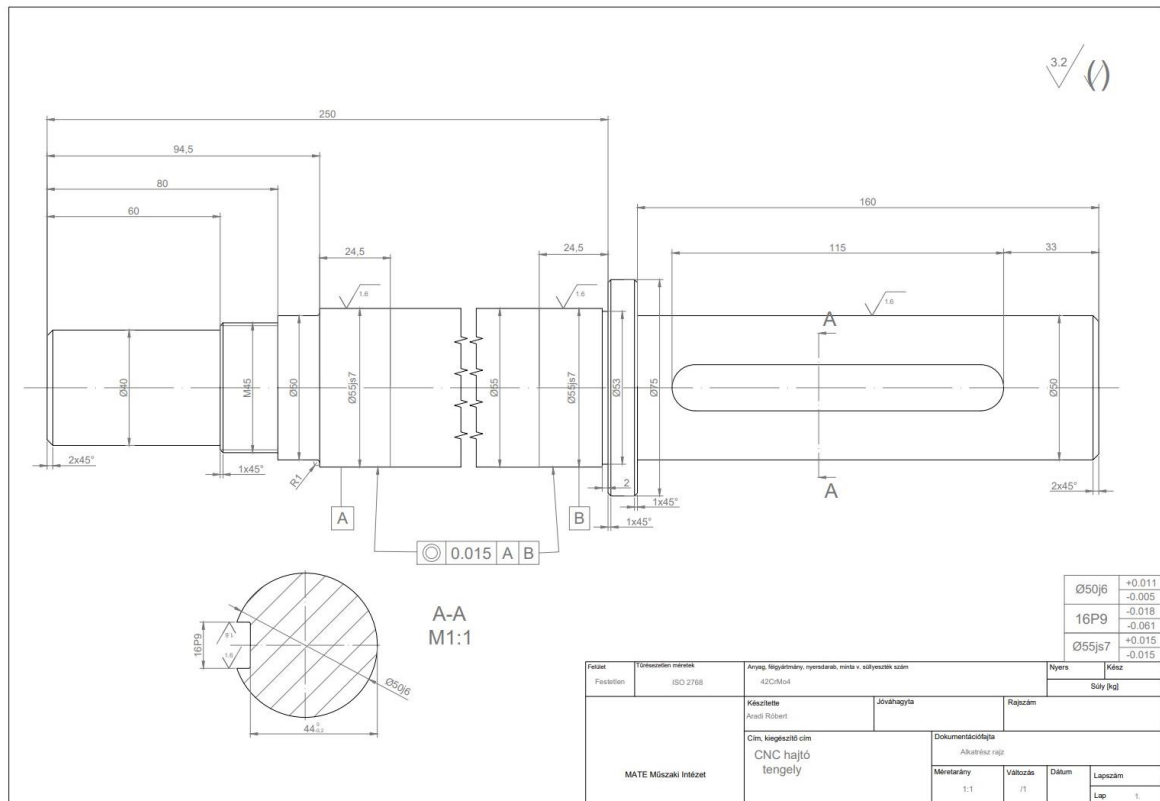
a tengely keresztmetszetében fellépő nyírófeszültségben (5.24. ábra).



5.24. ábra – A nyírófeszültség eloszlása a rekonstruált tengelyben

A szimulációs adatok további elemzése során látható az is, hogy a maximális feszültségérték 345MPa-ra változott. Elsőre ez egy kicsit ellentmondásosnak tűnhet, hogy a változtatások ellenére a nyírófeszültség megnövekedett az előző tengelyen mért értékekhez képest. Ennek több oka is lehet, de a legvalószínűbb oka az, hogy a 42CrMo4 acél egy magasabb szilárdságú ötvözött acél, amelynek magasabb a rugalmassági modulusza. Ez azt jelenti, hogy az anyag keményebb kevésbé hajlamos az anyagváltozásra nem annyira nyúlik egy szóval kevésbé rugalmasabb így a belső feszültség is nagyobb lesz. Ettől függetlenül az anyag folyáshatára jóval meghaladja ezt a feszültségmaximumot tehát a tengely alkalmas az alábbi terhelési körülmények között való használatra. Illetve a színskála egyértelműen megmutatja, hogy a maximális feszültség már nem a kritikus ponton alakul ki. Tehát a rekonstrukciós tervezés sikeres volt így megkezdődhet a tengely legyártásához szükséges műszakrajz elkészítése majd a tengely házban belüli legyártása. Az újra tervezett hajtóműtengely gyártása házban belül történik, ami az én stratégiai döntésem volt. Az egyik legfontosabb szempont, amiért így döntöttem a gyorsaság volt. Mivel a tengely az egyik kulcsfontosságú alkatrész a gépünk működéséhez, elengedhetetlen, hogy ennek pótlásával mielőbb helyreálljon a gyártósor működése. A házban belüli gyártás lehetővé teszi számunkra, hogy gyorsan reagáljunk a gép meghibásodására, és jelentősen csökkentjük az állásidőt, amely jelentős anyagi veszteséget okozhat a vállalatnak.

A tengely gyártásának folyamata több lépésből áll, amelyek mindegyike elengedhetetlen a végső termék minőségének és funkcionalitásának biztosításához. Az első és legfontosabb lépés egy műszaki rajz elkészítése volt, amely tartalmazza a szükséges méretek, tűrések és felületi érdességek specifikációit (5.25. ábra). (1) Ez fog irányelvként szolgálni a gyártási folyamat minden szakaszában.



5.25. ábra – A rekonstruált tengely műszaki rajza

5.3. Rekonstruált tengely gyártásának tervezése

5.3.1. Esztergálás

Az esztergálás folyamata kritikus szerepet játszik a tengely gyártásában, mivel ez az első lépés, ahol az alapanyagból a kívánt geometriai formát létrehozunk. Ez a fázis több részből áll.

Az esztergálás megkezdése előtt az alapanyagot, amely ebben az esetben 42CrMo4 ötvözött acél, megfelelően elő kell készíteni. Ez magában foglalja az anyag méretre vágását, a felület tisztítását és előzetes ellenőrzését, hogy az mentes legyen minden szennyeződéstől vagy hibától, amely befolyásolhatja a munkadarab minőségét vagy a megmunkálási folyamatot. Esztergálási folyamat:

- Külső felületek kialakítása

Az esztergálás során először a tengely külső felületeit alakítjuk ki. Itt állítjuk be a tengely átmérőjét, hosszát és a különböző szakaszok geometriáját. Ez a lépés magában foglalja azoknak a felületeknek a kialakítását is, amelyek speciális felületi érdességet nem igényelnek. A tengelyen gyakran szükséges különböző mélységű beszúrásokat és vállakat kialakítani, amelyek segítségével a tengelyre szerelt alkatrészek megfelelő pozícióban rögzíthetők. Ezeknek a geometriai elemeknek a kialakítása nagy pontosságot igényel, mivel a beszúrások mérete és helye meghatározó a tengely funkcionális szempontjából.

- Menetek kialakítása

A tengelyen egy M45-ös metrikus menet is kialakításra kerül, amelyet egy speciális menetvágó szerszám segítségével hozunk létre. A menet pontos méretezése és kialakítása kritikus, mert ez biztosítja, hogy a tengelyre szerelt alkatrészek pontosan illeszkedjenek és megfelelően rögzítsék azokat.

- Fogásmélység és a forgácsolósebesség

Alkalmazott szerszám: oldalélű esztergakés

P10 20×20 j III MSZ 1904

Forgácskeresztmetszet meghatározása:

- kiinduló átmérő: $D = 80 \text{ mm}$
- megmunkált átmérő: $d = 55,2 \text{ mm}$

Fogásmélység: $a = \frac{D-d}{2} = \frac{80-55,2}{2} = 12,4 \text{ mm}$

A keletkező forgácsoló erő értéke:

Forgácsoló erő értéke: $k_{cm} = 2040 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Előtolási érték: $f = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{ford}}$

Megosztott fogásmélység: $a = 2 \text{ mm}$

$$F_{cv} = k_{cm} * f * a = 2040 * 0,2 * 2 = 816 \text{ N}$$

Alkalmazott fordulatszám:

- Forgácsoló sebesség: $v_c = 50 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

$$n = \frac{1000 * v_c}{D * \pi} = \frac{1000 * 50}{80 * \pi} = 198,94 \frac{1}{\text{min}}$$

A gépen beállítható fordulatszám: $n_{g\acute{e}pi} = 180 \frac{1}{\text{min}}$

A módosult forgácsolósebesség:

$$v_{cm} = \frac{D * \pi * n_{g\acute{e}pi}}{1000} = \frac{80 * \pi * 180}{1000} = 45,24 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

5.3.2. Marás

A tengely gyártási folyamatának második lépése a marás, amely során kritikus geometriai elemek, mint a reteszhorony, kerülnek kialakításra. Ez a művelet nagy pontosságot igényel, mivel a horony megfelelő kialakítása biztosítja a tengelyen rögzített alkatrészek stabil illeszkedését és megbízható működését. Az alábbiakban részletesen bemutatom a marási folyamat lépéseit.

A tengely rögzítéséhez sima felületű tokmánypofát használunk. Ez a típusú pofa

kifejezetten arra lett tervezve, hogy szilárdan tartsa a munkadarabot anélkül, hogy károsítaná a felületét. A sima felületek megakadályozzák a karcolásokat és egyéb felületi sérüléseket a tengelyen, ami különösen fontos, amikor a felületi minőség és érdesség szigorú követelményeknek kell megfelelnie.

- Forgácsolósebesség

Alkalmazott szerszám: hosszlyukmaró hengeres szárral

HS8 0 1 10 MSZ3873

Alkalmazott fordulatszám:

Forgácsoló sebesség: $v_c = 50 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

$$n = \frac{1000 * v_c}{D * \pi} = \frac{1000 * 10,5}{8 * \pi} = 417,78 \frac{1}{\text{min}}$$

A gépen beállítható fordulatszám: $n_{\text{gépi}} = 355 \frac{1}{\text{min}}$

A módosult forgácsolósebesség:

$$v_{\text{cm}} = \frac{D * \pi * n_{\text{gépi}}}{1000} = \frac{8 * \pi * 355}{1000} = 8,9 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- Az asztal előtolása:

- fogankénti előtolás: $f_z = 0,03 \frac{\text{mm}}{\text{fog}}$

- $n_{\text{gépi}} = 28 \frac{1}{\text{min}}$

- szerszám fogszáma: $z = 2$

$$s = f_z * n_{\text{gépi}} * z = 0,03 * 28 * 2 = 1,68 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

A gépen beállítható asztal előtolás: $s_{\text{gépi}} = 20 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 0,02 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,00033 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Az időegység alatt leválasztható forgácsköbtartalom:

- marás szélessége: $B = 16 \text{ mm} = 0,016 \text{ m}$

- horony mélysége: $h = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$

$$V_t = B * h * s_{\text{gépi}} = 0,016 * 0,006 * 0,000333 = 3,19 * 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Mielőtt a tengelyt rögzítenénk a tokmány szorítását precízen beállítjuk. A megfelelő szorítási erő elengedhetetlen, mert a túl erős szorítás deformálhatja a tengelyt vagy nyomot

hagyhat rajta, míg túl gyenge szorítás esetén a tengely elmozdulhat a marási folyamat során. A reteszhorony kialakításához ujjmarót használunk. Ez a típusú marószerszám a megfelelő választás a keskeny és mély hornyok készítéséhez, mint például a reteszhorony. A marási paraméterek beállítása kulcsfontosságú ennél a műveletnél mivel az anyag igen kemény és ilyenkor az átlagosnál lassabb előtolást kisebb fogásvételt és magasabb fordulatszámot alkalmazunk. Fontos a megfelelő kivitelezés mert a rendelkezésre álló idő kevés és szeretnénk a tengely gyártását költséghatékonyan elvégezni.

5.3.3. Hőkezelés

A hőkezelés elengedhetetlen része a tengely gyártási folyamatának, mivel jelentős hatással van az anyag mikrostruktúrájára, mechanikai tulajdonságaira és végül a termék teljesítményére. A hőkezelés célja a tengely mechanikai jellemzőinek optimalizálása, hogy az képes legyen ellenállni a működés közben fellépő terheléseknek és stressznek.

Mielőtt a tengelyt hőkezeljük, gondosan megtervezzük és előkészítjük a folyamatot. Ez magában foglalja a tengely tisztítását minden felületi szennyeződéstől, olajtól vagy forgácsoktól, hogy elkerüljük a nem kívánt kémiai reakciókat vagy egyenetlen hőátadást a kezelés során.

A tengely anyaga 42CrMo, melynek széntartalma 0,42 % ezért a hőkezelés nemesítés, amely martenzites edzésből és magas hőmérsékletű megeresztésből áll.

A nemesítést 0,3 %-nál magasabb karbontartalmú hipoeutektoidos acélokon alkalmazzák. Ezzel a hőkezeléssel beállítható a megfelelő szilárdság-szívósság arány. A megeresztési hőmérséklet növelésével csökken a keménység és a szilárdság, ezzel szemben nő az ütőmunka és az alakíthatóság. Dinamikus igénybevételnek kitett alkatrészek esetében (törésveszély) a megeresztési hőmérséklet magasabb. Amennyiben magas folyáshatár elérése a cél a megeresztési hőmérséklet alacsonyabb. A nemesítés technológiai paramétereinek meghatározása egy optimalizálási folyamat (szilárdság-szívósság). A megeresztés idejét (1,5-2 óra) és hőmérsékletét az alkatrész igénybevétele és összetétele alapján kell megválasztani.

Az edzés folyamatában a tengelyt először magas hőmérsékletre melegítjük, majd gyorsan lehűtjük (olajban, vízben vagy más hűtőközegben). A 42CrMo4 acél esetében az edzési hőmérséklet általában a 850°C-tól 880°C-ig terjed. Az edzés célja a tengely szilárdságának és kopásállóságának növelése.

Az edzés után a tengely mikrostruktúrája martenzitikussá válik, ami jelentősen növeli

annak keménységét és szilárdságát. Azonban ez a folyamat a tengelyt törékennyé is teheti, ami további lépéseket igényel a tulajdonságok kiegyensúlyozására.

Az edzés utáni lágyítás vagy hőkimunkálás a tengelyt ismét magas hőmérsékletre melegítjük, de ezúttal a hűtés lassabban történik, általában a levegőn hagyva, hogy természetesen hűljön le. Ez a folyamat segít csökkenteni az edzés során keletkezett belső feszültségeket, növeli a szívósságot.

A lágyítás hőmérséklete és időtartama függ a kívánt végső tulajdonságoktól és a tengely méretétől. Tipikusan, ez a hőmérséklet 600°C és 650°C között van.

A hőkezelés minden szakasza után a tengelyt alapos minőségellenőrzésen esik át, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a mikrostruktúra, a keménység és a többi fizikai tulajdonság megfelel-e a műszaki előírásoknak. Ezt általában keménységméréssel, mikroszkópos vizsgálattal és szükség esetén ultrahangos teszteléssel végezzük.

5.3.4. Köszörülés

A gyártási folyamat utolsó lépése a tengely köszörülése, amely a felületi minőség és méretpontosság végső beállítását célozza. Ez a művelet különösen fontos a magas pontosságot igénylő felületeken, ahol a tűrések szűkek és a felületi érdességnek meg kell felelnie a szigorú ipari előírásoknak.

Az esztergálási folyamat során 0.1mm-es ráhagyást hagyunk a köszörülendő felületeken. Ez a méret azért ilyen kicsi, mert a 42CrMo4 acél, amelyet a tengely gyártásához használunk, rendkívül kemény anyag. A kisebb ráhagyás csökkenti a köszörülési időt és a szerszám kopását, miközben lehetővé teszi, hogy a végső felületi minőség pontosan megfeleljen a tervezési előírásoknak.

A köszörülés megkezdése előtt a köszörűgépet precízen beállítjuk. A köszörülőkorong sebességét, előtolását és a hűtőfolyadék adagolását a 42CrMo4 acél tulajdonságaihoz igazítjuk, hogy optimalizáljuk a vágási hatékonyságot és minimalizáljuk a hő okozta deformációt. A köszörülés során folyamatosan ellenőrizzük a felületi érdességet és a méretpontosságot.

A köszörülés után a tengely felületeit esetlegesen szükséges utókezeléseknek vetjük alá, mint például polírozás, hogy tovább javítsuk a felület minőségét és csökkentsük a mikroszkopikus egyenetlenségeket.

A gyártási folyamat befejezéseként a tengely minden jellemzőjét alaposan ellenőrizzük, beleértve a méretpontosságot, felületi érdességet és a geometriai hibákat. Ezt követően a

tengely kész állapotban van, hogy teljesítse a szigorú működési követelményeket és hosszú távon megbízhatóan működjön a tervezett alkalmazásban.

- A szükséges fogások száma

Alkalmazott szerszám: sima alakú köszörűkorong

$$\varnothing 350 \times 63 \times \varnothing 127 \text{ 6A 46 K4 V}$$

- fogásmélység: $a_p = 0,02 \text{ mm}$
- Munkadarab kerületi sebessége: $v_w = 0,0935 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
- Munkadarab előtolása: $f = 25,2 \text{ mm}$

A másodpercenként leválasztott anyagterefogat:

$$V = a_p * f * v_w = 0,02 * 25,2 * 0,0935 * 10^3 = 47,124 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} = 0,0471 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

A forgácsolás teljesítményszükséglete:

A munkadarab fordulatszáma:

$$n_w = \frac{10^3 * 60 * v_w}{D * \pi} = \frac{10^3 * 60 * 0,0935}{55,2 * \pi} = 32,35 \frac{1}{\text{min}}$$

A köszörűkorong kerületi sebessége:

$$v_{kő} = D_{kő} * n_{kő} * \pi = 0,35 * 1850 * \pi = 2033,15 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

A nagyoló fogások száma:

- az esztergálási ráhagyás mértéke: 0,2 mm
- ebből nagyoláskor 2/3 részt távolítunk el
- így 0,13 mm-t kell nagyolási megmunkálással eltávolítani

$$i_n = \frac{\frac{2}{3} * 0,2}{a} = \frac{\frac{2}{3} * 0,2}{0,02} = 7$$

A simító fogások száma:

- ráhagyás mértéke: 0,06 mm

$$i_s = \frac{0,06}{a} = \frac{0,06}{0,01} = 6$$

Simítás utáni átmérő: $\varnothing 55 \text{ js7}$

6. Gazdasági számítások

A gazdasági számítás első lépéseként meghatározom, hogy mennyi alapanyagra van szükség. Gyárunk sokszínűsége miatt raktárkészletünkön az alábbi méretben tartunk 42CrMo4 anyagminőségű köracélt D: 80mm, illetve h: 1000mm. Nekünk nagyságrendileg 450mm hosszú anyagra lesz szükségünk. Első lépésként meghatározom a szükséges anyagmennyiség térfogatát, amelyre a fent említett adatokkal a következő értéket kapom 0.00226m^3 . Az anyag sűrűségét figyelembevéve, ami $7,85\text{ g / cm}^3$ összeszorozom a térfogattal így a szükséges anyagmennyiség tömege 17,76kg, amit az anyagköltség miatt 18kg-ra kerekítetek. Az anyag ára 1000Ft /kg, amely 18.000Ft-nyi anyagköltséget határoz meg (6.1. táblázat).

Alapanyag	42CrMo4
Köracél	1000Ft /kg
Tömeg	18kg
Σ (nettó):	18.000Ft

6.1. táblázat – A rekonstruált tengely műszaki

A következő lépésben egy igen nagy problémával szembesültem, ami a következő volt. Az alkatrész legnagyobb átmérője 75mm míg a soron következő átmérő csak 55mm ez azt jelenti, hogy 25mm anyagot kell eltávolítani a tengely teljes hosszán a további két oldalon. Normál esetben az ilyen alkatrészekhez egy alakhelyes előgyártmányt készítenek, amelynek célja, hogy ne kelljen ekkora mennyiségben anyagot eltávolítani a kívánt geometria kialakításához, hiszen ez rengeteg időkieséshez és jelentős szerszámköltséghez vezet.

Az én esetemben nem jöhetett szóba az előgyártmány megrendelése mert ez rengeteg időt vett volna igénybe. Kompromisszumot kellett kötnöm olyan téren, hogy az alkatrész gyártási ideje jelentősen nőni fog, illetve a felhasznált szerszám mennyisége is hiszen ez az alapanyag kemény és a gyártási időt az alkatrész megmunkálási fázisainak technológizálása határozza meg, jelen esetben az esztergálásé. Ha a technológián gyorsítani szeretnénk az a megmunkálás biztonsági kockázatának növekedéséhez vezet, ami jelen esetben szerszám vagy akár géptörést is eredményezhet. Mivel a legyártáshoz szükséges „szabad” gépekből csak egy áll rendelkezésre így nem siettethetem a gyártási folyamatot.

Az alkatrész megtervezése és kivitelezése majd a fűrészgépbe való beszerelése összesen 5 napot vesz igénybe. A gyártást a karbantartó részlegünkön fogjuk elvégezni, ahol jelenleg

kettő műszak fog dolgozni az alkatrészen. Egy délelőttös és egy délutános műszak. Mivel a projekt folyamatos hibamentes előrehaladásához időt kell hagyni az egyes folyamatok elvégzésére így mind mérnöki mind operátori oldalról is szükséges lesz a túlóravállalás a projekt mielőbbi befejezésének céljából, ami többletköltséghez vezet (6.2. táblázat).

Munkakör	CNC-Operátor		
Órabér (bruttó)	3300 Ft		
Műszak	Alap (8 óra)	Túlóra (4 óra)	
Műszakpótlék (délelőtt 0%)	26400 Ft		
Műszakpótlék (délután 20%)	31680 Ft		
Túlórapótlék (délelőtt 200%)		26400 Ft	
Túlórapótlék (délután 220%)		29 040 Ft	
Σ (bruttó):	58 080 Ft	55 440 Ft	113 520 Ft
Σ (nettó):			75 661 Ft

6.2. táblázat – A rekonstruált tengely műszaki

Az egyik legfontosabb szempont, ami miatt a projekt igen magas prioritást végez és a határidő betartása fontos az az, hogy a CNC fűrészgép az egyik stratégiai terméket gyártó gépsorunk pótolhatatlan részét képezi. Ennek az a jelentősége, hogy ha ez a gép kiesik a termelésből akkor az egész gyártósor megáll. Ez az állásidő a megrendelők felé meghatározott határidők betartásának veszélyeztetéséhez vezet, amely kártérítésből adódó igen jelentős anyagi veszteséghez vezet. Mivel ezek az adatok titkosak így a beszerzés felé tett anyagi károkra vonatkozó kérdésekre csupán azt a választ kaptam, hogy a gyártósor

állása napi szinten nagyságrendileg 1 nap / 10.000\$-os anyagi kárt jelent. Ez 5 nap esetén 50.000\$-t jelent, ami forintban közel 19.000.000Ft. (6.3. táblázat).

	nap / \$	nap / Ft
Állásidő (nettó) (1 nap)	10.000	3.700.000
Összes állásidő (nettó) (5 nap)	50.000	18.500.000

6.3. táblázat – A rekonstruált tengely műszaki

Mivel ez az összeg jóval meghaladja az anyag és a túlóravállalás anyagi költségeit így a továbbiakban a tengely gyártási költségeinek pontos meghatározását nem tartom relevánsnak.

7. Összefoglalás

A hajtómű tengelyek olyan kulcsfontosságú elemek, amelyek meghatározzák a gépek és járművek hajtásának hatékonyságát és erejét. Ezek a kritikus alkatrészek olyan közvetítők, amelyek által a motortól vagy a fő hajtóművektől származó energiaátvitelre kerül a kerekekhez, légcsavarokhoz, hajtóművekhez vagy más mozgó részekhez. Ennek révén a hajtómű tengelyek alapvető szerepet töltenek be a gépek mozgatásában és az energia hatékony felhasználásában.

A projekt során végzett mérnöki munka célja a tengely megbízhatóságának és teljesítményének javítása volt, figyelembe véve a gép maximális igénybevételét és a hosszú távú stabilitást. Az alábbiakban összefoglalom a módosított tengely tervezési és tesztelési folyamatát, az eredményeket, és értékelem a rekonstrukció sikerességét.

A tervezési folyamat során a tengely átmérőjét 40mm-ről 50mm-re növeltem, amely geometriailag jelentősen növeli a tengely merevségét és teherbírását. Ezen felül, az anyagminőséget is megváltoztattam, ahol az eredeti S235 anyagot a magasabb szilárdságú és jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező 42CrMo4 acélra cseréltem. Ez az anyag kiváló fáradásállóságot és nagyobb szilárdságot kínál, amely kritikus a tengely megbízhatósága szempontjából.

A SolidWorks és Ansys szoftverekkel végzett szimulációk alapján a tengely tervezett terhelési feltételek mellett mutatott viselkedését elemeztem. A tengelyre alkalmazott maximális forgatónyomaték és a terhelési ciklusok során a keletkező maximális feszültség értéke 502 MPa volt, amely jelentősen alatta marad a 42CrMo4 acél 900 MPa folyáshatárának. Ez bizonyítja, hogy a tengely szerkezete képes elviselni az előre jelzett legnagyobb igénybevételt anélkül, hogy károsodna vagy törésnek lenne kitéve.

A szimulációk alapján kiszámított 502 MPa maximális feszültség és a 42CrMo4 acél 900 MPa-es folyáshatára közötti jelentős különbség jelentős biztonsági tartalékot jelent. Ez a biztonsági tényező nem csupán a törés elleni védelmet szolgálja, hanem növeli a tengely élettartamát is, mivel a kevesebb ciklikus terhelés és alacsonyabb feszültség szint csökkenti a kifáradás esélyét. A rekonstrukciós projektet sikernek tekintem.

A tervezési változtatások, mint az átmérő növelése és a jobb minőségű anyag használata, nem csak hogy megnövelték a tengely teherbírását és stabilitását, hanem jelentősen javították a

szerkezet biztonsági profilját is. Az eredmények megerősítik, hogy a módosított tengely képes lesz ellenállni az esetlegesen fellépő maximális igénybevételnek, így biztosítva a gép hosszú távú, megbízható működését. Az összegzésben a gazdasági számítások alapján megállapítottam, hogy a termelés mielőbbi elindítása kulcsfontosságú, függetlenül a ráfordítások mértékétől. A gépsor állása jelentős költségekkel jár, melynek mértéke olyan magas, hogy ezek mellett minden más kiadás elhanyagolhatónak tűnik. Ezért a gyors és hatékony termelés elindítása gazdaságilag indokolt lépés, amely hosszú távon jelentős megtakarításokat eredményezhet.

8. Summary

During the project, the engineering work aimed to enhance the reliability and performance of the shaft, considering the machine's maximum utilization and long-term stability. Below, I summarize the design and testing process of the modified shaft, the results, and evaluate the success of the reconstruction.

In the design process, I increased the shaft diameter from 40mm to 50mm, which significantly enhances the shaft's stiffness and load-bearing capacity. Additionally, I changed the material quality, replacing the original S235 material with 42CrMo4 steel, which offers superior fatigue resistance and greater strength, crucial for the shaft's reliability.

Using SolidWorks and Ansys software, I analyzed the behavior of the shaft under the designed load conditions. The maximum stress occurring during maximum torque and load cycles was 502 MPa, significantly below the 900 MPa yield strength of 42CrMo4 steel. This confirms that the shaft structure can withstand the predicted maximum loads without damage or fracture.

The significant difference between the calculated maximum stress of 502 MPa and the 900 MPa yield strength of 42CrMo4 steel provides a considerable safety margin. This safety factor not only protects against fracture but also extends the shaft's lifespan, as fewer cyclic loads and lower stress levels reduce the likelihood of fatigue.

I consider the reconstruction project a success. Design changes such as increasing the diameter and using higher quality material not only increased the shaft's load-bearing capacity and stability but also significantly improved its safety profile. The results confirm that the modified shaft will be able to withstand any potentially occurring maximum loads, thus ensuring the machine's long-term, reliable operation.

In conclusion, based on the economic calculations, it is evidential that the immediate commencement of production is crucial, regardless of the costs involved. The downtime of the production line incurs significant expenses, so high that all other costs appear negligible in comparison. Therefore, initiating production quickly and efficiently is an economically justified step which can lead to substantial long-term savings.

Hivatkozás

- [1.] *Dr. Kári-Horváth Attila - A forgácsolásnál alkalmazott minimálkenés (mms) hatásmechanizmusa- és hatékonyságának növelése (2009)*
- [2.] *A, Kári-Horváth: A forgácsolásnál alkalmazott minimálkenés (MMS) hatásmechanizmusa*
- [3.] *Bagyinszki Gyula Dr., Borossay Béla, Kári-Horváth Attila Dr., Kovács-Coskun Tünde, Mucsi András, Németh Árpád Dr., Pálinkás István, Szakál Zoltán Dr., Zsidai László Dr.: Anyagtechnológiák, Typotex Kiadó, H.n., 2012*
- [4.] *Dr Mikó Balázs, Dr Sipos Sándor, Hervay Péter, Dr Zentay Péter (2014) - Forgácsolás technológia alapjai*
- [5.] *Dr Zsidai-Kakuk-Kári-Horváth-Szakál (2008) - Előgyártmányi és képlékeny alakítási tervezési gyakorlat*
- [6.] *Dr. Kodácsy János - Dr. Pintér József - Forgácsolás és szerszámai. Széchenyi István Egyetem (2011)*
- [7.] *Dr. Pintér József (2018) - Forgácsoló megmunkálás (Forgácsolás és szerszámai)*
- [8.] *Fledrich G., Kakuk Gy., Kári-Horváth A., Zsidai L.; Gépgyártástechnológia, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő, 2016;*
- [9.] *Fledrich G., Kári-Horváth A., Pataki T. I., Zsidai L.; Mechanikai technológiák, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő, 2017;*
- [10.] *G series. G SERIES. <https://www.rossi.com/en/Products/Industrial-Gear-Units/G-Series>*
- [11.] *Henkel-emulziók, hűtő-kenőfolyadékok. Hűtő - kenőfolyadékok, emulziók, fémmegmunkálási olajok, Henkel vízzel keverhető emulziók, köszörű oldatok és elpárolgó stancolajak. <https://hungary.zahradnik.com/>*
- [12.] *Igaz Jenő (1983) - Forgácsoló megmunkálás III.*
- [13.] *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 749 Paper: 012017 , 8 p. (2020)*

-
- [14.] *Jánossy Gy.-Kári-Horváth A.-Keresztes R.- Zsidai L.: Szereléstechológiák, NSZFI, NS 108 0276 06 004-4 Budapest, 2008*
- [15.] *Kakuk Gy., Kári-Horváth A., Szakál Z., Dr. Zsidai L.; 2008; Gyártástervezés; Nemzeti szakképzési és felnőttképzési intézet; Budapest*
- [16.] *Kakuk Gy., Kári-Horváth A., Szakál Z., Zsidai L.; Forgácsoló eljárások tervezése, Nemzeti szakképzési és felnőttképzési intézet; Budapest, 2008*
- [17.] *Kári-Horváth A., Dr. Pellényi L., Szabó L., Dr. Zsidai L.; 2006; Gépgyártástechnológia példatár és segédlet, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő*
- [18.] *Kári-Horváth A., Pataki T. I.; Szerszámok és készülékek, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő, 2017*
- [19.] *Kári-Horváth, A ; Dr. Valasek, I :Demand of Energy for Chip Removal, MATERIALS SCIENCE FORUM 659 pp. 489-497. , 9 p. (2010)*
- [20.] *Kári-Horváth, A ; Pataki, T :Analysis of temperature in different cooling methods*
- [21.] *Kári-Horváth, A ; Valasek, I :Minimálkenés jelentősége a forgácsolásban, TECHMONITOR 1 : 2 pp. 22-24. Paper: ISSN2062-9044 , 3 p. (2011)*
- [22.] *Kári-Horváth, Attila ; Pataki, Tamás István ; Sarankó, Ádám ; Szilágyi, Nóra :A forgácsolóüzemek emulziókezelési "kaputól-kapuig" technológiájának felülvizsgálata*
- [23.] *MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA LXIII. évfolyam : 2022. május pp. 29-31. , 3 p. (2022)*
- [24.] *Moharos István, Oldal István, Szekrényes András (2011) - VÉGESELEM-MÓDSZER (Egyetemi tananyag)*
- [25.] *Ozsváth Péter Dr. Szmejkál Attila (2007 - 2008) - Járműszerkezeti Anyagok és Megmunkálások II.*
- [26.] *Pápai Gábor (2013) - Forgácsoló megmunkálás prezentáció*

-
- [27.] Pokorný, P., Dlhý, P., Poduška, J., Fajkoš, R., Vojtek, T., Náhlik, L., Grasso, M., & Hutař, P. (2020) - *Influence of heat treatment-induced residual stress on residual fatigue life of railway axles.*
- [28.] Saarbrücken, Németország : *GlobeEdit* (2016) , 187 p. ISBN: 97833330806177
- [29.] *SOLIDWORKS CAD 3D Design Software.* <https://www.solidworks.com/>
- [30.] Valasek, I ; A, Kári-Horváth : *The action mechanism of minimum lubrication and the increase of its efficiency, TRIBOLOGIE UND SCHMIERUNGSTECHNIK 58 : 3 pp. 34-47. , 14 p. (2011)*
- [31.] Zsidai, L ; Kakuk, Gy ; Kári-Horváth, A ; Szakál, Z ; Pálinkás, I (szerk.) *Előgyártmány és képlékeny alakítási tervezési gyakorlat, Budapest, Magyarország: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet (NSZFI) (2008) , 9 p. ISBN: 9789637469992*

Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

Alulírott Aradi Róbert Tibor a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gépészmérnök szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2024. 04. 19.



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: _Gödöllő, 2024. év _április_ hó 22. nap



Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Aradi Róbert Tibor (név) (hallgató Neptun azonosítója: YDFT5L) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő 2024. év április hó 22. nap

Dr. Kovács Anikó

Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Aradi Róbert Tibor
A Hallgató Neptun kódja: YDFT5L
A dolgozat címe: Egyedi tervezésű DANOBAT CNC-fűrészgép hajtóműtengelyének rekonstrukciós tervezése számítógépes támogatással
A megjelenés éve: 2024
A tanszék neve: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2024.04.21



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.